数控宏程序编程方法、技巧与实例

第2版

冯志刚　主编



- 涉及华中、西门子、FANUC三种数控系统
- 详解车削和铣削数控宏程序编程方法、技巧
- 提供典型实例的工艺分析和编程设计
- 实例源自技能等级和数控竞赛实操试题



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

VISIT…

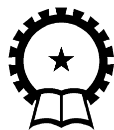
LANZAROTE

Caliente.com

数控宏程序编程方法、技巧与实例

第 2 版

冯志刚　主编



机 械 工 业 出 版 社

本书围绕当前常见的HNC—21/22M华中世纪星、SINUMERIK 802D和FANUC 0i三种数控系统的宏程序编程设计展开。全书共分4章，第1章介绍HNC—21/22M华中世纪星、SINUMERIK 802D和FANUC 0i三种数控系统的用户宏程序基础理论知识及宏指令调用格式和特点；第2章介绍在数控车床上对典型零件和非圆曲线零件进行宏程序编程的技巧和编程实例；第3章介绍在数控铣床和加工中心上对典型零件和非圆曲线零件进行宏程序编程的技巧和大量的编程实例；第4章详细讲述了实例零件的工艺分析和程序设计。

本书是一本实用性非常强的数控技术用书，特别适合高技能数控人才使用，并可供数控行业的工程技术人员、从事数控加工编程及操作的人员参考，也可供各类大中专院校、技工学校机电一体化专业、数控专业及相关专业的师生使用。本书可作为各类竞赛和国家职业技能鉴定数控高级工、数控技师、高级技师的参考书。

图书在版编目（CIP）数据

数控宏程序编程方法、技巧与实例/冯志刚主编. —2版. —北京：
机械工业出版社，2011.3 (2016.1重印)
ISBN 978-7-111-33271-8

Ⅰ.①数…　Ⅱ.①冯…　Ⅲ.①数控机床-程序设计　Ⅳ.①TG659

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第017025号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号　邮政编码100037)
策划编辑：周国萍　责任编辑：周国萍　责任校对：任秀丽
封面设计：路恩中　责任印制：乔　宇
北京京丰印刷厂印刷
2016年1月第2版·第4次印刷
184mm×260mm·27.25印张·672千字
5 601—6 200册
标准书号：ISBN 978-7-111-33271-8
定价：53.00元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换
电话服务　　策划编辑：(010) 88379733
社服务中心：(010) 88361066
销售一部：(010) 68326294
销售二部：(010) 88379649
读者购书热线：(010) 88379203
网络服务
门户网：http://www.cmpbook.com
教材网：http://www.cmpedu.com
封面无防伪标均为盗版

第 2 版前言

宏程序是程序编制的高级形式，程序编制的质量与数控系统、数控加工工艺及编程人员多方面的知识和经验息息相关。宏程序不仅是一种数控编程的手段，更重要的是，使用宏程序进行数控编程本身也是一个熟知数控系统功能、确定及优化加工工艺的过程。因此，能够熟练运用宏程序进行数控编程的人员，他也一定是具有扎实的数控加工工艺知识的人；而且，在加工有规律的工件时，无论是加工速度还是加工精度，宏程序都比自动编程来得好，也比用自动编程软件所编程序来得精练，修订方便。现在的全国数控大赛只允许手工编程，而且国外的一些数控相关考试都是采用手工编程，不允许使用 CAD/CAM 软件进行编程，可见宏程序是很重要的。

本书围绕当前常见的 HNC—21/22M 华中世纪星、SINUMERIK 802D 和 FANUC 0i 三种数控系统的宏程序编程设计展开，系统、全面介绍宏程序的应用。本书第 1 版自 2007 年出版以来，受到了广大读者的热情支持，并受到业内人士的广泛关注，全国各地读者纷纷通过电话、信函、E-mail 等形式向出版社或作者提出各种问题、意见和建议。这也是出版社和作者进行本书第 2 版修订的原因。

作者首先对第 1 版的内容进行了仔细的校对，修订了书中的一些疏漏、错误和误录，其次，在第 1 版的一些章节增加了典型实例的工艺分析和编程设计。

在第 2 章中，增加了典型抛物线、椭圆、正弦曲线轮廓的工艺分析与车削编程加工应用实例，这些实例源自技能等级实操试题和数控竞赛实操试题。

在第 3 章中，增加了椭圆轮廓、圆柱曲面、轮廓圆弧过渡和角度过渡、锥台、阿基米德螺旋线轮廓的工艺分析与铣削编程加工应用实例，并特别介绍了 FANUC 0i 系统的 G10 L12 P _ R _指令和 SINUMERIK 802D 系统的$TC _ DP6[t, d] = R 指令在宏（参数）程序中的应用实例。

本书由无锡机电高等职业技术学校冯志刚任主编，朱兴伟、蒋洪斌任副主编，秦文伟、陈晓燕参编。因时间仓促，书中难免有错误和疏漏之处，敬请各位读者、同行及专家批评、指正；可发 E-mail 到 fzg621@126.com 共同探讨、交流。

冯志刚

第 1 版前言

数控编程作为数控加工的关键技术之一，其程序的编制效率和质量在很大程度上决定了产品的加工精度和生产率。尤其是随着数控加工不断朝高速、精密方向的发展，提高数控程序的编制质量和效率对于提高制造企业的竞争力有着重要的意义。随着 CAD/CAM 软件的不断普及应用，数控编程的模式逐渐由自动编程取代手工编程。但 CAM 软件编程和手工编程有着各自的特长，且现有的 CAM 软件不能满足所有数控系统的特殊功能。因此，充分结合这两种编程模式，对于提高编程的效率和质量有着重要的意义。

目前，国内企业使用的数控机床大多是普通数控机床和少量的高精密数控机床。对于传统的普通数控机床，存在着内存容量有限，无法实现高速切削加工等缺陷；因此，最大限度地发挥普通数控机床的加工效率，编制简洁合理的小容量数控程序，使加工程序变得简洁，对现实加工来说，有着很重要的实际意义。

在手工编制数控机床程序中，经常把能完成某一功能的一系列指令像子程序那样存入存储器，用一个总指令来代表它们，使用时只需给出这个总指令就能执行其功能。所存入的一系列指令称作用户宏功能主体，这个总指令称作用户宏功能指令。

在编程时，不必记住用户宏功能主体所含的具体指令，只要记住用户宏功能指令即可。用户宏功能的最大特点是在用户宏功能主体中能够使用变量；变量之间还能够进行运算；用户宏功能指令可以把实际值设定为变量，使用户宏功能更具通用性。可见，用户宏功能是提高数控机床性能的一种特殊功能。宏功能主体既可由机床生产厂提供，也可由机床用户自己编制（见编程实例）。使用时，先将用户宏主体像子程序一样存放到内存里，然后用子程序调用指令 M98 调用。

本书作者通过实例介绍了数控铣削加工编程中运用宏程序编程，可以充分提高数控编程的效率。希望能为从事数控加工与编程的读者提供借鉴。

目　　录

第 2 版前言
第 1 版前言
第 1 章　用户宏程序 …… 1
1.1　HNC—21/22M 华中世纪星数控系统宏指令编程 …… 1
1.1.1　宏变量及常量 …… 1
1.1.2　运算符与函数 …… 4
1.1.3　语句表达式 …… 4
1.1.4　调用方式 …… 5
1.1.5　用户宏程序的结构及用户宏功能 …… 6
1.2　SINUMERIK 802D 数控系统 R 参数指令编程 …… 8
1.2.1　计算参数 R …… 8
1.2.2　程序跳转 …… 9
1.2.3　子程序 …… 12
1.2.4　R 参数编程的结构及 R 参数功能 …… 13
1.3　FANUC 0i—MC 数控系统用户宏程序 …… 15
1.3.1　变量 …… 15
1.3.2　系统变量 …… 17
1.3.3　算术和逻辑运算 …… 23
1.3.4　宏程序语句和 NC 语句 …… 27
1.3.5　转移和循环 …… 28
1.3.6　宏程序调用 …… 30
1.3.7　用户宏程序的结构及用户宏功能 …… 40
第 2 章　数控车床的宏程序编程 …… 42
2.1　数控车床宏程序编程特征 …… 42
2.1.1　在宏程序主体中使用变量 …… 42
2.1.2　变量之间的演算 …… 43
2.1.3　用宏程序命令对变量进行赋值 …… 46
2.2　数控车床宏程序编程技巧 …… 46
2.2.1　用宏程序和 R 参数编程实现规格不同的轴加工 …… 46
2.2.2　用宏程序和 R 参数编程实现螺纹的粗、精加工 …… 54
2.2.3　用宏程序和 R 参数编制孔加工钻削循环 …… 57
2.3　非圆锥曲线类零件数控车削的宏程序编程实例 …… 60
2.3.1　椭圆类零件的宏程序和 R 参数编程 …… 60
2.3.2　双曲线过渡类零件的宏程序和 R 参数编程 …… 67
2.3.3　抛物线类零件的宏程序和 R 参数编程 …… 74
2.4　数控车削典型曲面零件的宏程序编程实例分析 …… 80
第 3 章　数控铣床、加工中心的宏程序编程 …… 100

3.1 数控铣床、加工中心宏程序编程特征 …… 100
3.1.1 在宏程序主体中使用变量 …… 100
3.1.2 变量之间的演算 …… 101
3.1.3 用宏程序命令对变量进行赋值 …… 105
3.2 数控铣床、加工中心宏（参数）程序编程技巧 …… 108
3.2.1 根据不同类型的零件进行程序设计及加工方法的选择 …… 108
3.2.2 设计程序流程结构框图 …… 110
3.2.3 合理选择图形的数学处理方法 …… 110
3.2.4 非圆曲线轮廓零件编程实例 …… 115
3.3 数控铣床、加工中心宏程序编程实例 …… 120
3.3.1 零件平面铣削宏程序编程实例 …… 120
3.3.1.1 长方形零件平面同向铣削宏程序编程 …… 120
3.3.1.2 长方形零件平面双向铣削宏程序编程 …… 127
3.3.1.3 圆形零件平面的双向铣削宏程序编程 …… 135
3.3.2 孔系类零件宏程序编程实例 …… 145
3.3.2.1 直线点阵孔群钻削宏程序编程 …… 145
3.3.2.2 矩形框式点阵孔群宏程序编程 …… 150
3.3.2.3 平行四边形框式点阵孔群宏程序编程 …… 158
3.3.2.4 矩形网式点阵孔群宏程序编程 …… 167
3.3.2.5 平行四边形网式点阵孔群宏程序编程 …… 174
3.3.2.6 圆弧点阵孔群宏程序编程 …… 182
3.3.2.7 圆环形点阵孔群宏程序编程 …… 187
3.3.2.8 交错排列的网格点阵孔群宏程序编程 …… 192
3.3.3 外轮廓侧面铣削宏程序编程实例 …… 199
3.3.3.1 圆形零件外轮廓侧面铣削宏程序编程 …… 199
3.3.3.2 长方形外轮廓侧面铣削宏程序编程 …… 204
3.3.3.3 跑道形外轮廓侧面铣削宏程序编程 …… 211
3.3.4 凹槽类零件侧面铣削宏程序编程实例 …… 218
3.3.4.1 圆形凹槽类零件侧面铣削宏程序编程 …… 218
3.3.4.2 方形凹槽类零件侧面铣削宏程序编程 …… 224
3.3.4.3 跑道形凹槽类零件侧面铣削宏程序编程 …… 231
3.3.5 锥台类零件侧面铣削宏程序编程实例 …… 243
3.3.5.1 圆形锥台类零件侧面铣削宏程序编程 …… 243
3.3.5.2 正四棱锥台类零件侧面铣削宏程序编程 …… 251
3.3.5.3 正多棱锥台类零件侧面铣削宏程序编程 …… 259
3.3.6 锥槽类零件侧面铣削宏程序编程实例 …… 267
3.3.6.1 圆锥槽侧面铣削宏程序编程 …… 267
3.3.6.2 四方锥槽类零件侧面铣削宏程序编程 …… 277
3.3.6.3 跑道形锥槽类零件侧面铣削宏程序编程 …… 290
3.3.7 非圆锥曲线类零件的宏程序编程实例 …… 303
3.3.7.1 椭圆类零件曲面的宏程序编程 …… 303
3.3.7.2 双曲线类零件曲面的宏程序编程 …… 311
3.3.7.3 抛物线类零件曲面的宏程序编程 …… 319

3.3.7.4　阿基米德螺旋线类零件曲面的宏程序编程 …… 329
3.3.8　球面类零件的宏程序编程实例 …… 337
3.3.8.1　凸半球面零件类的宏程序编程 …… 337
3.3.8.2　凹半球面零件类的宏程序编程 …… 343
3.3.8.3　相邻面圆角过渡类零件的宏程序编程 …… 352
3.4　数控铣削典型曲面零件的宏程序编程实例分析 …… 363
第4章　典型曲面零件宏程序编程实例分析与加工 …… 399
4.1　烟灰缸的宏程序编程与加工 …… 399
4.2　五角星的宏程序编程与加工 …… 411
4.3　快餐饭盒凹模的宏程序编程与加工 …… 417
参考文献 …… 426

第 1 章　用户宏程序

1.1　HNC—21/22M 华中世纪星数控系统宏指令编程

HNC—21/22M 华中世纪星数控系统为用户配备了强有力的类似于高级语言的宏程序功能，用户可以使用变量进行算术运算、逻辑运算和函数的混合运算。此外，宏程序还提供了循环语句、分支语句和子程序调用语句，利于编制各种复杂的零件加工程序，减少乃至免除手工编程时进行繁琐的数值计算，以及精简程序量。

1.1.1　宏变量及常量

1. 宏变量

在常规的主程序和子程序内，总是将一个具体的数值赋给一个地址。为了使程序更具通用性、更加灵活，在宏程序中设置了变量。

（1）变量的表示　变量可以用“#”号和紧跟其后的变量序号来表示：#i（i=1，2，3…）。

例如：#5，#109，#501。

（2）变量的引用　将跟随在一个地址后的数值用一个变量来代替，即引入了变量。

例如：对于 F［#103］，若 #103=50 时，则为 F50；

对于 Z［-#110］，若 #110=100 时，则为 Z-100；

对于 G［#130］，若 #130=3 时，则为 G03。

（3）变量的类型　华中数控系统的变量分为公共变量和系统变量两类。

1）公共变量：公共变量又分为全局变量和局部变量。全局变量是在主程序和主程序调用的各用户宏程序内都有效的变量。也就是说，在一个宏指令中的#i 与在另一个宏指令中的#i 是相同的。局部变量仅在主程序和当前用户宏程序内有效。也就是说，在一个宏指令中的#i 与在另一个宏指令中的#i 是不一定相同的。

全局变量的序号为：#50 ~ #199

当前局部变量的序号为：#0 ~ #49

0 层局部变量的序号为：#200 ~ #249

1 层局部变量的序号为：#250 ~ #299

2 层局部变量的序号为：#300 ~ #349

3 层局部变量的序号为：#350 ~ #399

4 层局部变量的序号为：#400 ~ #449

5 层局部变量的序号为：#450 ~ #499

6 层局部变量的序号为：#500 ~ #549

7 层局部变量的序号为：#550 ~ #599

华中数控系统可以子程序嵌套调用，调用的深度最多可以有九层。每一层子程序都有自己独立的局部变量，变量个数为50。如当前局部变量为#0～#49；第一层局部变量为#200～#249；第二层局部变量为#250～#299；第三层局部变量为#300～#349；依此类推。

2）系统变量：系统变量定义为有固定用途的变量，它的值决定系统的状态。系统变量包括刀具偏置变量、接口的输入/输出信号变量、位置信号变量等。

例如：#600 ～ #699　刀具长度寄存器 H0 ～ H99

#700 ～ #799　刀具半径寄存器 D0 ～ D99

#800 ～ #899　刀具寿命寄存器

#1000 机床当前位置 X	#1001 机床当前位置 Y	#1002 机床当前位置 Z
#1003 机床当前位置 A	#1004 机床当前位置 B	#1005 机床当前位置 C
#1006 机床当前位置 U	#1007 机床当前位置 V	#1008 机床当前位置 W
#1009 保留	#1010 程编机床位置 X	#1011 程编机床位置 Y
#1012 程编机床位置 Z	#1013 程编机床位置 A	#1014 程编机床位置 B
#1015 程编机床位置 C	#1016 程编机床位置 U	#1017 程编机床位置 V
#1018 程编机床位置 W	#1019 保留	#1020 程编工件位置 X
#1021 程编工件位置 Y	#1022 程编工件位置 Z	#1023 程编工件位置 A
#1024 程编工件位置 B	#1025 程编工件位置 C	#1026 程编工件位置 U
#1027 程编工件位置 V	#1028 程编工件位置 W	#1029 保留
#1030 当前工件零点 X	#1031 当前工件零点 Y	#1032 当前工件零点 Z
#1033 当前工件零点 A	#1034 当前工件零点 B	#1035 当前工件零点 C
#1036 当前工件零点 U	#1037 当前工件零点 V	#1038 当前工件零点 W
#1039 保留	#1040 G54 零点 X	#1041 G54 零点 Y
#1042 G54 零点 Z	#1043 G54 零点 A	#1044 G54 零点 B
#1045 G54 零点 C	#1046 G54 零点 U	#1047 G54 零点 V
#1048 G54 零点 W	#1049 保留	#1050 G55 零点 X
#1051 G55 零点 Y	#1052 G55 零点 Z	#1053 G55 零点 A
#1054 G55 零点 B	#1055 G55 零点 C	#1056 G55 零点 U
#1057 G55 零点 V	#1058 G55 零点 W	#1059 保留
#1060 G56 零点 X	#1061 G56 零点 Y	#1062 G56 零点 Z
#1063 G56 零点 A	#1064 G56 零点 B	#1065 G56 零点 C
#1066 G56 零点 U	#1067 G56 零点 V	#1068 G56 零点 W
#1069 保留	#1070 G57 零点 X	#1071 G57 零点 Y
#1072 G57 零点 Z	#1073 G57 零点 A	#1074 G57 零点 B
#1075 G57 零点 C	#1076 G57 零点 U	#1077 G57 零点 V
#1078 G57 零点 W	#1079 保留	#1080 G58 零点 X
#1081 G58 零点 Y	#1082 G58 零点 Z	#1083 G58 零点 A
#1084 G58 零点 B	#1085 G58 零点 C	#1086 G58 零点 U
#1087 G58 零点 V	#1088 G58 零点 W	#1089 保留
#1090 G59 零点 X	#1091 G59 零点 Y	#1092 G59 零点 Z

#1093 G59 零点 A	#1094 G59 零点 B	#1095 G59 零点 C
#1096 G59 零点 U	#1097 G59 零点 V	#1098 G59 零点 W
#1099 保留	#1100 中断点位置 X	#1101 中断点位置 Y
#1102 中断点位置 Z	#1103 中断点位置 A	#1104 中断点位置 B
#1105 中断点位置 C	#1106 中断点位置 U	#1107 中断点位置 V
#1108 中断点位置 W	#1109 坐标系建立轴	#1110 G28 中间点位置 X
#1111 G28 中间点位置 Y	#1112 G28 中间点位置 Z	#1113 G28 中间点位置 A
#1114 G28 中间点位置 B	#1115 G28 中间点位置 C	#1116 G28 中间点位置 U
#1117 G28 中间点位置 V	#1118 G28 中间点位置 W	#1119 G28 屏蔽字
#1120 镜像点位置 X	#1121 镜像点位置 Y	#1122 镜像点位置 Z
#1123 镜像点位置 A	#1124 镜像点位置 B	#1125 镜像点位置 C
#1126 镜像点位置 U	#1127 镜像点位置 V	#1128 镜像点位置 W
#1129 镜像屏蔽字	#1130 旋转中心（轴 1）	#1131 旋转中心（轴 2）
#1132 旋转角度	#1133 旋转轴屏蔽字	#1134 保留
#1135 缩放中心（轴 1）	#1136 缩放中心（轴 2）	#1137 缩放中心（轴 3）
#1138 缩放比例	#1139 缩放轴屏蔽字	#1140 坐标变换代码 1
#1141 坐标变换代码 2	#1142 坐标变换代码 3	#1143 保留
#1144 刀具长度补偿号	#1145 刀具半径补偿号	#1146 当前平面轴 1
#1147 当前平面轴 2	#1148 虚拟轴屏蔽字	#1149 进给速度指定
#1150 G 代码模态值 0	#1151 G 代码模态值 1	#1152 G 代码模态值 2
#1153 G 代码模态值 3	#1154 G 代码模态值 4	#1155 G 代码模态值 5
#1156 G 代码模态值 6	#1157 G 代码模态值 7	#1158 G 代码模态值 8
#1159 G 代码模态值 9	#1160 G 代码模态值 10	#1161 G 代码模态值 11
#1162 G 代码模态值 12	#1163 G 代码模态值 13	#1164 G 代码模态值 14
#1165 G 代码模态值 15	#1166 G 代码模态值 16	#1167 G 代码模态值 17
#1168 G 代码模态值 18	#1169 G 代码模态值 19	#1170 剩余 CACHE
#1171 备用 CACHE	#1172 剩余缓冲区	#1173 备用缓冲区
#1174 保留	#1175 保留	#1176 保留
#1177 保留	#1178 保留	#1179 保留
#1180 保留	#1181 保留	#1182 保留
#1183 保留	#1184 保留	#1185 保留
#1186 保留	#1187 保留	#1188 保留
#1189 保留	#1190 用户自定义输入	#1191 用户自定义输出
#1192 自定义输出屏蔽	#1193 保留	#1194 保留

2. 常量

类似于高级编程语言中的常量，在用户宏程序中也具有常量。在华中数控系统中的常量主要有三个：

PI：圆周率

TRUE：条件成立（真）

FALSE：条件不成立（假）

1.1.2 运算符与函数

宏程序中的各运算符、函数将实现丰富的宏功能。华中数控系统的运算符有：

1. 算术运算符

+、-、*、/。

2. 条件运算符

EQ（=）、NE（≠）、GT（>）、GE（≥）、LT（<）、LE（≤）。

3. 逻辑运算符

AND（与）、OR（或）、NOT（非）。

4. 函数

SIN（正弦）、COS（余弦）、TAN（正切）、ATAN（反正切 -90° ~ 90°）、ABS（绝对值）、INT（取整）、ATAN2（反正切 -180° ~ 180°）、SIGN（取符号）、SQRT（平方根）、EXP（指数）。

1.1.3 语句表达式

用运算符连接起来的常数、宏变量构成表达式。

例如：175/SQRT [2] * COS [55 * PI/180]；

　　　#3 * 6 GT 14；

华中数控系统的语句表达式有三种：

1. 赋值语句

格式：宏变量 = 常数或表达式

把常数或表达式的值送给一个宏变量称为赋值。

例如：#2 = 175/SQRT [2] * COS [55 * PI/180]；

　　　#3 = 124.0；

2. 条件判别语句 IF ELSE ENDIF

格式（i）：IF 条件表达式

　　　…条件成立（真）

　　　ELSE

　　　…条件不成立（假）

　　　ENDIF

格式（ii）：IF 条件表达式

　　　…条件成立（真）

　　　ENDIF

3. 循环语句 WHILE ENDW

格式：WHILE 条件表达式

　　　…条件成立（真）

　　　ENDW

条件判别语句的使用参见第 3 章宏程序编程举例。

循环语句的使用参见 1.1.5 节中宏程序编程举例。

1.1.4　调用方式

G 代码在调用宏（子程序或固定循环，下同）时，为保存当前主程序的编程信息，系统会将当前程序段各字段（A ~ Z 共 26 个字段，如果没有定义则为零）的内容复制到宏执行时的局部变量#0 ~ #25，同时复制调用宏时当前通道九个轴的绝对位置（机床绝对坐标）到宏执行时的局部变量#30 ~ #38。

调用一般子程序时，不保存系统模态值，即子程序可修改系统模态，并保持有效；而调用固定循环时，保存系统模态值，即固定循环子程序不修改系统模态参数。

表 1-1 列出了宏当前局部变量#0 ~ #38 所对应的宏调用者传递的字段参数名。

宏程序的调用方式类似于调用子程序，即同样采用 M98 调用，采用 M99 结束。但在宏程序时，应给出所需要的参数值，例如有一个逼近整圆的数控加工程序，在程序中把加工整圆作为宏程序进行调用，在调用时要给出所要求的圆心点和圆半径，见表 1-2。

表 1-1　当前局部变量表

宏当前局部变量	宏调用时所传递的字段名或系统变量	宏当前局部变量	宏调用时所传递的字段名或系统变量
#0	A	#20	U
#1	B	#21	V
#2	C	#22	W
#3	D	#23	X
#4	E	#24	Y
#5	F	#25	Z
#6	G	#26	固定循环指令初始平面 Z 模态值
#7	H	#27	不用
#8	I	#28	不用
#9	J	#29	不用
#10	K	#30	调用子程序时轴 0 的绝对坐标
#11	L	#31	调用子程序时轴 1 的绝对坐标
#12	M	#32	调用子程序时轴 2 的绝对坐标
#13	N	#33	调用子程序时轴 3 的绝对坐标
#14	O	#34	调用子程序时轴 4 的绝对坐标
#15	P	#35	调用子程序时轴 5 的绝对坐标
#16	Q	#36	调用子程序时轴 6 的绝对坐标
#17	R	#37	调用子程序时轴 7 的绝对坐标
#18	S	#38	调用子程序时轴 8 的绝对坐标
#19	T		

表 1-2 圆的宏程序调用

程　序	说　明
O1234	文件名
%1000	程序号
G54　G00　X0　Y0　Z0	工件零点偏置
M98　P2　X－50　Y0　R50	调用加工整圆的宏程序，并给出圆心点和圆半径
M30	程序结束
%2	加工整圆的宏程序
……	
M99	宏程序结束，返回主程序

1.1.5 用户宏程序的结构及用户宏功能

HNC—21/22M 华中世纪星数控系统用户宏程序由文件名（O××××）、宏程序号（%××××）、宏程序主体和宏程序指令组成。宏程序结束指令用 M30，结束宏程序的同时，返回主程序开头，同时将本宏程序内所用的局部变量清零。

变量、演算式和转向语句的使用是用户宏功能的核心。它们既可以用在宏程序中，也可以用在主程序中。所以从广义上说，程序使用变量的功能就可以称为用户宏功能，有没有宏程序都是如此。下面举用户宏功能的一个应用实例。

编程举例：加工图 1-1 所示零件，铣削圆台与斜方台，各自加工 3 个循环，要求倾斜 10° 的斜方台与圆台相切，圆台在方台之上。试用变量、演算式和转向语句来编写程序。

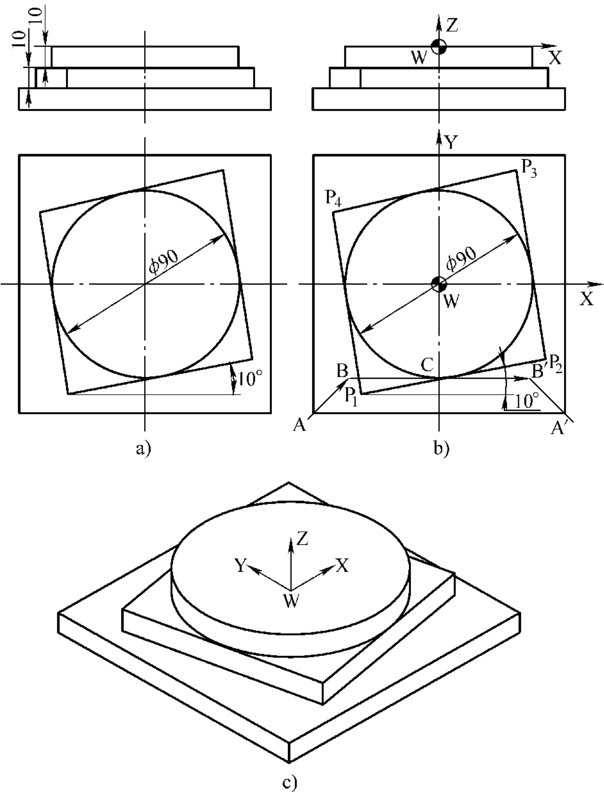


图 1-1 宏程序编制示例图

a）零件尺寸图　b）刀具路线图　c）效果图

```
O××××;文件名
%10;程序号
N005   #10=10.0 ;圆台阶高度
       #11=10.0 ;方台阶高度
       #12=124.0 ;圆外定点的 X 坐标值
       #13=124.0 ;圆外定点的 Y 坐标值
       #101=12.0;刀具半径(偏大,粗加工)
       #102=6.5;刀具半径(偏中,半精加工)
       #103=6.0;刀具半径(实际,精加工)
N010   T01   M06;调用 1 号刀具
N015   G17   G90   G21   G94   G54   G40   G49   G80;工艺加工初始状态设置
N020   G43   G00   Z50.0   H01   S650   M03;建立刀具长度补偿,主轴正转,转速为
                                            650r/min
N025   X0 Y0 M07;刀具快速移动到工件坐标零点,打开切削液
N030   #0=0;计数器置初始值
N035   G00   X[-#12]   Y[-#13];刀具快速插补至圆外定点 A,坐标为(-124.0,
                                 -124.0)
N040   Z[-#10];刀具快速下降至工件表面下方 10mm 处,准备加工圆台
N045   WHILE   #0   LT   3;如果#0 大于或等于 3,跳转到 N090 程序段(加工圆台循环)
N050   G42   G01   X[-#12/2]   Y[-90/2]   F150.0   D[#0+101]
                                   ;右补偿,直线插补到圆台切线 B 点上
N055   X0   Y[-90/2];直线插补到圆台直径切点上 C 点
N060   G03   J[90/2];逆时针整圆插补
N065   G01   X[#12/2]   Y[-90/2];沿圆台直径切点切线切出到 B′点
N070   G40   X[#12]   Y[-#13];取消刀具半径补偿,直线插补到 A′点
N075   G00   X[-#12]   Y[-#13];刀具快速返回到程序起点 A 点
N080   #0=#0+1;计数器加 1,返回 N045 程序段
N085   ENDW;循环结束
N090   Z[-#10-#11];刀具快速下降至斜方台最终加工深度
N095   #2=45*SQRT[2]*COS[55*PI/180];斜方台左下角 P1 点横坐标计算
       #3=45*SQRT[2]*SIN[55*PI/180];斜方台左下角 P1 点纵坐标计算
       #4=90*COS[10*PI/180];斜方台右下角 P2 点离开左下角 P1 点横向相对值计算
       #5=90*SIN[10*PI/180];斜方台右下角 P2 点离开左下角 P1 点纵向相对值计算
       #0=0;计数器置初始值
N100   WHILE #0 LT 3;(如果#0 大于或等于 3,跳转到 N145 程序段)进入加工斜方台循环
N105   G90   G42   G01   X[-#2]   Y[-#3]   F150.0   D[#0+101]
                                   ;右补偿,直线插补到斜方台左下角 P1 点
N110   G91   X[#4]   Y[#5];运用相对坐标指令,直线插补到斜方台右下角 P2 点
N115   X[-#5]   Y[#4];直线插补到斜方台右上角 P3 点
```

N120 X[-#4] Y[-#5];直线插补到斜方台左上角 P_4 点
N125 X[#5] Y[-#4];直线插补到斜方台左下角 P_1 点
N130 G90 G40 G00 X[-#12] Y[-#13];运用绝对坐标指令,取消刀具半径补偿,刀具快速运行到程序起点 A 点
N135 #0 = #0 +1;计数器加 1,返回 N100 程序段
N140 ENDW;循环结束
N145 G00 Z100.0 M09;刀具退到工件上表面 100mm 处,切削液关闭
N150 G49;取消刀具长度补偿
N155 G00 X0 Y0 M05;刀具退回工件坐标零点,主轴停止
N160 M30;程序结束并返回程序开头

1.2 SINUMERIK 802D 数控系统 R 参数指令编程

1.2.1 计算参数 R

要使一个 NC 程序不仅仅适用于特定数值下的一次加工，或者必须要计算出数值，这两种情况均可以使用计算参数。在程序运行时，可以由控制器计算或设定所需要的数值，也可以通过操作面板设定参数数值。如果参数已经赋值，则它们可以在程序中对由变量确定的地址进行赋值。

编程的计算参数从 R0 ~ R299，共 300 个计算参数。其中，R0 ~ R99 在编程时可以自由使用；R100 ~ R249 主要用于加工循环传递参数；R250 ~ R299 用于加工循环的内部计算参数。如果编程时没有用到加工循环，R100 ~ R249 同样可以在编程时自由使用。

1. 赋值

1）可以在以下数值范围内给计算参数赋值：

$$\pm(0.0000001 \sim 99999999)\text{（8 位，带符号和小数点）}$$

在取整数值时，可以去除小数点，正号可以省去。

编程举例 1：

R0 =3.5678 R1 = -37.3 R2 =2 R3 = -7 R4 = -45678.1234

2）用指数表示法可以赋值更大的数值范围：

$$\pm(10^{-300} \sim 10^{+300})$$

指数值写在 EX 符号之后；最大符号数：10 个（包括符号和小数点）；EX 值范围：-300 ~ +300。

编程举例 2：

R0 = -0.1EX -5 ；表示 R0 等于 -0.0000001
R1 =1.874EX8 ；表示 R1 等于 187400000

注释：一个程序段中可以有多个赋值语句，也可以用计算表达式赋值。

3）给其他的地址赋值：通过给其他的 NC 地址分配计算参数或参数表达式，可以增加 NC 程序的通用性。可以用数值、算术表达式或 R 参数对任意 NC 地址赋值，但对地址 N、G 和 L 例外。

赋值时在地址符之后需写入符号“=”；赋值语句也可以赋值一负号。给坐标轴地址（运行指令）赋值时，要求有一独立的程序段。

编程举例3：

N10　G00　X=R2 ；给X值赋值

2. 参数的计算

在计算参数时也遵循通常的运算规则。圆括号内的运算优先进行。另外，乘法和除法运算优先于加法和减法运算。

角度计算单位为度（°）。

编程举例4：R参数编程

N10　R1=R1+1 ；由原来的R1加上1后得到新的R1

N20　R1=R1+R2 R2=R5-R6

　　R7=R8*R9 R10=R11/R12；

N30　R13=SIN（25.3）；R13等于正弦25.3°

N40　R14=R1*R2+R3 ；乘法和除法运算优先于加法和减法运算

N50　R14=R3+R2*R1 ；与N40一样

N60　R15=SQRT（R1*R1+R2*R2）；表示R15等于R1的平方与R2的平方和开平方根

N70　…

编程举例5：坐标值赋值

N10　G01　G91　X=R1　Y=R2　F300 ；

N20　Z=R3 ；

N30　X=-R4 ；

N40　Z=-R5 ；

N50　…；

1.2.2　程序跳转

1. 标记符——程序跳转目标

标记符用于标记程序中所跳转的目标程序段，用跳转功能可以实现程序运行分支。标记符可以自由选取，但必须由2~8个字母或数字组成，其中开始两个符号必须是字母或下划线。

跳转目标程序段中标记符后面必须为冒号。标记符位于程序段段首。如果程序段有段号，则标记符紧跟着段号。

在一个程序中，标记符不能含有其他意义。

程序举例：

N10　MARKE1：G01　X20 ；MARKE1为标记符，跳转目标程序段

⋮

TR789：G00　X10　Z20 ；TR789为标记符，跳转目标程序段没有段号

N100 …；程序段号可以是跳转目标

2. 绝对跳转

功能：NC程序在运行时以写入时的顺序执行程序段。程序在运行时可以通过插入程序

跳转指令改变执行顺序。跳转目标只能是有标记符的程序段。此程序段必须位于该程序之内。绝对跳转指令必须占用一个独立的程序段。表 1-3 为绝对跳转指令说明。表 1-4 为绝对跳转指令编程示例。

编程：

GOTOF Label ；向前跳转

GOTOB Label ；向后跳转

表 1-3　绝对跳转指令说明

指令	说　　明
GOTOF	向前跳转（向程序结束的方向跳转）
GOTOB	向后跳转（向程序开始的方向跳转）
Label	所选的标记符

3. 有条件跳转

功能：用 IF 条件语句表示有条件跳转，如果满足跳转条件（也就是值不等于零），则进行跳转。跳转目标只能是有标记符的程序段，该程序段必须在此程序内。

有条件跳转指令要求一个独立的程序段。在一个程序段中可以有许多个条件跳转指令。

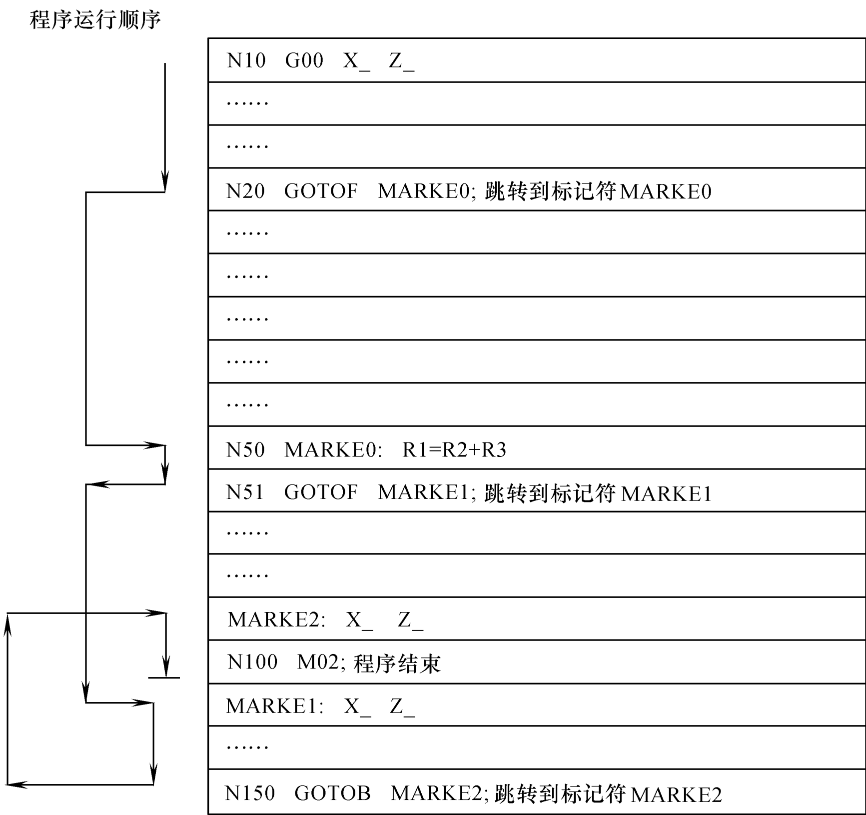
使用了条件跳转后，有时会使程序得到明显的简化。表 1-5 为有条件跳转指令说明，表 1-6 为条件比较运算符。

编程：

IF 条件 GOTOF Label ；向前跳转

IF 条件 GOTOB Label ；向后跳转

表 1-4　绝对跳转指令编程示例



N10　G00　X_　Z_
……
……
N20　GOTOF　MARKE0; 跳转到标记符 MARKE0
……
……
……
……
……
N50　MARKE0:　R1=R2+R3
N51　GOTOF　MARKE1; 跳转到标记符 MARKE1
……
……
MARKE2:　X_　Z_
N100　M02; 程序结束
MARKE1:　X_　Z_
……
N150　GOTOB　MARKE2; 跳转到标记符 MARKE2

表 1-5 有条件跳转指令说明

指令	说 明
GOTOF	向前跳转（向程序结束的方向跳转）
GOTOB	向后跳转（向程序开始的方向跳转）
Label	所选的标记符
IF	跳转条件导入符
条件	作为条件的计算参数，计算表达式

表 1-6 条件比较运算符

运算符	意 义
= =	等于
< >	不等
>	大于
<	小于
> =	大于或等于
< =	小于或等于

用表 1-6 所示比较运算符表示跳转条件，计算表达式也可用于比较运算。比较运算的结果有两种，一种为“满足”，另一种为“不满足”。“不满足”时，该运算结果为零。

比较运算编程举例 1：

R1 >1 ；R1 大于 1

1 < R1 ；1 小于 R1

R1 > R2 + R3 ；R1 大于 R2 加 R3

R6 > = SIN（R7 * R7）；R6 大于或等于 SIN（R7）^{2}

编程举例 2：

```
N10   IF R1 < >0 GOTOF MARKE1 ；R1 不等于零时，跳转到 MARKE1 程序段
 ⋮
N0100   IF R1 >1 GOTOF MARKE2 ；R1 大于 1 时，跳转到 MARKE2 程序段
 ⋮
N1000   IF R45 = = R7 +1 GOTOB MARKE3 ；R45 等于 R7 加 1 时，跳 转
                                        到 MARKE3 程序段
 ⋮
 ⋮                                      ；一个程序段中有多个条件跳转
 ⋮
N20   IF R1 = =1 GOTOB MA1 IF R1 = =2 GOTOF MA2 …
 ⋮
```

注释：第一个条件实现后就进行跳转。

4. 程序跳转举例

如图 1-2 所示圆弧上点的移动。

已知：	起始角：	30°	R1
	圆弧半径：	32mm	R2
	位置间隔：	10°	R3
	点数：	11	R4
	圆心位置，X 轴方向	50mm	R5
	圆心位置，Y 轴方向	20mm	R6

程序如下：

N10 R1 =30 R2 =32 R3 =10 R4 =11 R5 =50 R6 =20；赋初始值

N20　MA1：G00 X = R2 * COS（R1）＋R5 Y = R2 * SIN（R1）＋R6
；坐标轴地址的计算及赋值

N30　R1 = R1 + R3　R4 = R4 - 1；参数计算

N40　IF R4 > 0 GOTOB MA1；如果 R4 大于 0，则程序跳转到标记符 MA1 程序段

N50　M02；程序结束并返回到程序开头

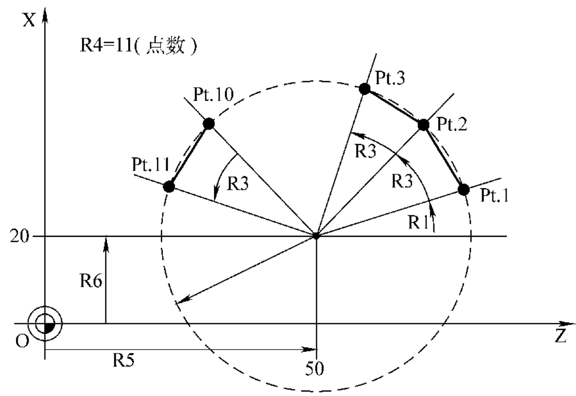


图 1-2　圆弧上点的移动

说明：

在程序段 N10 中，给相应的计算参数赋值。在 N20 中进行坐标轴 X 和 Y 的数值计算，并进行赋值。

在程序段 N30 中，R1 增加到 R3 角度；R4 减小数值 1。

在程序段 N40 中，如果 R4 > 0，则重新执行 N20，否则运行 N50，用 M02 结束程序。

1.2.3　子程序

原则上主程序和子程序之间并没有什么区别。用子程序编写经常重复进行的加工，例如图 1-3 所示，在一个工件上加工 4 个相同轮廓形状的凹槽。子程序位于主程序中适当的地方，在需要时进行调用、运行，可简化程序编制。

加工循环是子程序的一种形式，它包含一般通用的加工工序，诸如钻削、攻螺纹、铣槽等。通过给规定的计算参数赋值就可以实现各种具体的加工。

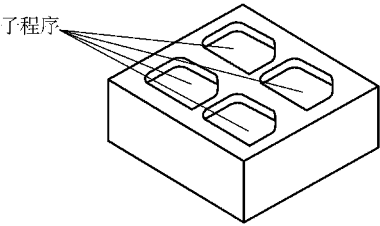


图 1-3　在一个工件上四次调用子程序

子程序的结构与主程序的结构一样，在子程序中也是在最后一个程序段中用 M02 结束程序运行。子程序结束后返回主程序。

子程序结束除了用 M02 指令外，还可以用 RET 指令结束子程序。RET 要求占用一个单独的程序段，不能和其他指令字写在同一行。用 RET 指令结束子程序、返回主程序时，不会中断 G64 连续路径运行方式；用 M02 指令结束子程序，则会中断 G64 运行方式，并进入停止状态。图 1-4 所示为两次调用子程序。

1. 子程序程序名

为了方便地选择某一子程序，必须给子程序取一个程序名。程序名可以自由选取，但必须符合以下规定：

1）开始两个符号必须是字母。

2）其他符号为字母、数字和下划线。

3）最多 8 个字符。

4）没有分隔符。

其方法与主程序中程序名的选取方法一样。例如：LRAHMEN7。另外，在子程序中还可以使用地址字 L，其后的值可以有 7 位（只能为整数）。

注意：地址字 L 之后的每个零均有意义，不可省略。

例如：L128 并非 L0128 或 L00128。

以上表示 3 个不同的子程序。

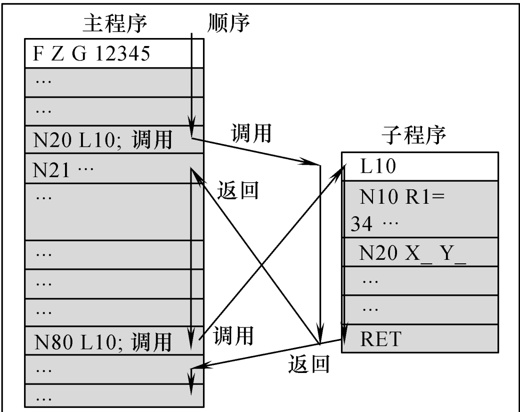


图 1-4　两次调用子程序

2. 子程序调用

在一个程序中（主程序或子程序）可以直接用程序名调用子程序。子程序调用要求占用一个独立的程序段。

例如：N10　L785　P3 ；调用子程序 785

N20　LRAHMEN7 ；调用子程序 LRAHMEN7

3. 程序重复调用次数 P __

如果要求多次连续地执行某一子程序，则在编程时必须在所调用子程序的程序名后地址 P 下写入调用次数，最大次数可以为 9999（P1 ~ P9999）。

例如：N10　L785　P3 ；调用子程序 785，运行 3 次

4. 嵌套深度

子程序不仅可以从主程序中调用，也可以从其他子程序中调用，这个过程称为子程序的嵌套。子程序的嵌套深度可以为八层，也就是九级程序界面（包括主程序界面），如图 1-5 所示。

在使用加工循环进行加工时，要注意加工循环程序也同样属于九级程序界面中的一级。

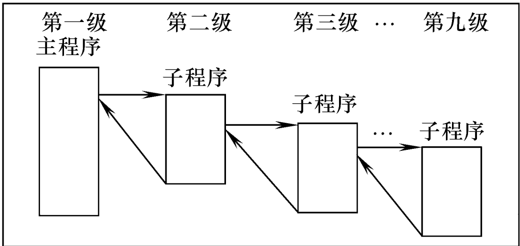


图 1-5　九级程序界面运行过程

说明：在子程序中可以改变模态有效的 G 功能，比如 G90 到 G91 的交换。在返回调用程序时，请注意检查一下所有模态有效的功能指令，并按照要求进行调整。

对于 R 参数也需同样注意，不要无意识地用上级程序界面中所使用的计算参数来修改下级程序界面的计算参数。

1.2.4　R 参数编程的结构及 R 参数功能

用户 R 参数程序由 R 参数程序名（号）、R 参数程序主体和 R 参数程序结束指令组成。

R 参数程序结束指令为 M02；SINUMERIK 802D 系统用 RET 结束 R 参数子程序、返回主程序或上一层子（R 参数）程序，同时将本 R 参数程序内所用的 R 参数清零。

计算 R 参数、演算式和转向语句的使用是用户计算参数（R）编程功能的核心，它们既可以用在 R 参数子程序中，也可以用在主程序中。所以从广义上说，程序使用计算参数的功能就可以称为用户 R 参数功能，有没有 R 参数程序都是如此。下面举一个用户 R 参数功能的应用实例。

编程举例：加工图 1-1 所示零件，铣削圆台与斜方台，各自加工三个循环，要求倾斜 10°的斜方台与圆台相切，圆台在方台之上。试用变量、演算式和转向语句来编写 R 参数程序。

```
FZG×××××；R 参数程序名
N005  R10=10.0 ；圆台阶高度
      R11=10.0 ；方台阶高度
      R12=124.0 ；圆外定点的 X 坐标值
      R13=124.0 ；圆外定点的 Y 坐标值
N010  T1  D1；调用 1 号刀具
N015  G17  G90  G54  G40；工艺加工初始状态设置
N020  G00  Z50.0  S650  M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为650r/min
N025  X0  Y0  M07；刀具快速移动到工件坐标零点，打开切削液
N030  R0=0；计数器置初始值
N035  G00  X=-R12  Y=-R13；刀具快速插补至圆外定点 A 上，坐标为
                          (-124.0，-124.0)
N040  Z=-R10 ；刀具快速下降至工件表面下方 10mm 处，准备加工圆台
N045  MARKE1：G42 G01 X=-R12/2 Y=-90/2 F150.0 D=R0+1
                          ；右补偿，直线插补到圆台切线 B 点上
N050  X0  Y=-90/2；直线插补到圆台直径切点 C 点上
N055  G03  J=90/2；逆时针整圆插补
N060  G01  X=R12/2  Y=-90/2；沿圆台直径切点切线切出到 B′点
N065  G40  X=R12  Y=-R13；取消刀具半径补偿，直线插补到 A′点
N070  G00  X=-R12  Y=-R13；刀具快速返回到程序起点 A 点
N075  R0=R0+1；计数器加 1
N080  IF R0<3 GOTOB MARKE1；如果 R0 小于 3，跳转到程序段 MARKE1（圆台切削
                          循环）
N085  Z=-R10-R11；刀具快速下降至斜方台最终加工深度
N090  R2=45*SQRT[2] *COS[55]；斜方台左下角 P1 点横坐标计算
      R3=45*SQRT[2] *SIN[55]；斜方台左下角 P1 点纵坐标计算
      R4=90*COS[10]；斜方台右下角 P2 点离开左下角 P1 点横向相对值计算
      R5=90*SIN[10]；斜方台右下角 P2 点离开左下角 P1 点纵向相对值计算
      R0=0；计数器置初始值
N095  MARKE2：G90  G42  G01  X=-R2  Y=-R3  F150.0  D=R0+1
```

；右补偿，直线插补到斜方台左下角 P_1 点

N100　G91　X = R4　Y = R5；运用相对坐标指令，直线插补到斜方台右下角 P_2 点

N105　X = －R5　Y = R4；直线插补到斜方台右上角 P_3 点

N110　X = －R4　Y = －R5；直线插补到斜方台左上角 P_4 点

N115　X = R5　Y = －R4；直线插补到斜方台左下角 P_1 点

N120　G90　G40　G00　X = －R12　Y = －R13

；运用绝对坐标指令取消刀具半径补偿，刀具快速运行到程序起点 A 点

N125　R0 = R0 + 1；计数器加 1

N130　IF R0 < 3 GOTOB MARKE2；如果 R0 小于 3，跳转到 MARKE2 程序段（加工斜方台）

N135　G00　Z100. 0　M09；刀具退到工件上表面 100mm 处，切削液关闭

N140　D0；取消刀具长度补偿

N145　G00　X0　Y0　M05；刀具退回工件坐标零点，主轴停止

N150　M02；程序结束并返回程序开头

注意：在程序输入时，同时将刀具半径补偿值输入，即 1 号刀具的刀沿 D1 = 12. 0（粗加工）、刀沿 D2 = 6. 5（半精加工）、刀沿 D3 = 6. 0（精加工）。

1. 3　FANUC 0i—MC 数控系统用户宏程序

虽然子程序对编制相同的加工程序非常重要，但用户宏程序由于允许使用变量、算术和逻辑运算及条件转移，使得编制同样的加工程序更简便。例如型腔加工宏程序和用户开发固定循环。使用时，加工程序可用一条简单指令调出用户宏程序，和调用子程序完全一样。图 1-6 为宏程序调用示例。

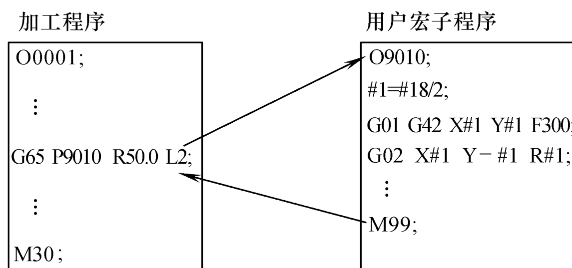


图 1-6　宏程序调用示例

1. 3. 1　变量

普通加工程序直接用数值指定 G 代码和移动距离，例如 G01 和 X100. 0。使用用户宏程序时，数值可以直接指定或用变量指定。当用变量指定时，变量值可用程序或用 MDI 面板操作改变。

```
#1 = #2 + 100;
G01   X#1   F300;
```

1. 变量的表示

一般编程方法允许对变量命名，但用户宏程序不行。变量用变量符号#和后面的变量号指定，例如#1。

表达式可以用于指定变量号，此时，表达式必须封闭在括号中。

例如：#［#1 + #2 − 12］

2. 变量的类型

变量根据变量号可以分成四种类型，见表1-7。

表1-7　变量类型

变量号	变量类型	功　能
#0	空变量	该变量总是空，没有值能赋给该变量
#1～#33	局部变量	局部变量只能用于在宏程序中存储数据，例如运算结果。当断电时，局部变量被初始化为空。调用宏程序时，自变量对局部变量赋值
#100～#199 #500～#999	公共变量	公共变量在不同的宏程序中的意义相同。当断电时，变量#100～#199初始化为空。变量#500～#999的数据保存，即使断电也不丢失
#1000～	系统变量	系统变量用于读和写CNC的各种数据，例如刀具的当前位置和补偿值

3. 变量值的范围

局部变量和公共变量可以为0值或下面范围中的值：

$-10^{47}\sim-10^{-29}$或$10^{-29}\sim10^{47}$

如果计算结果超出有限范围，则发出P/S报警No.111。

4. 小数点的省略

当在程序中定义变量值时，小数点可以省略。

例如：当定义#1=123时，变量#1的实际值是123.000。

5. 变量的引用

在地址后指定变量号即可引用其变量值。当用表达式指定变量时，要把表达式放在括号中。

例如：G01　X[#1+#2]　F#3；

被引用变量的值根据地址的最小设定单位自动地舍入。

例如：当用系统的最小输入增量为1/1000mm单位，指令G00　X#1，并将12.3456赋值给变量#1，实际指令值为G00　X12.3456。

改变引用变量的值的符号，要把负号（-）放在#的前面。

例如：G00　X-#1；

被引用未定义的变量时，变量及地址字都被忽略。

例如：当变量#1的值是0，并且变量#2的值是空时，G00　X#1　Y#2的执行结果为G00　X0。

6. 未定义的变量

当变量值未定义时，这样的变量称为“空”变量。变量#0总是空变量。它不能写，只能读。

（1）引用　当引用一个未定义的变量时，地址本身也被忽略。

例如：当变量#3的值是空，并且变量#4的值是0时，G00　X#3　Y#4的执行结果为G00　X0。

（2）运算　除了用〈空〉赋值以外，其余情况下〈空〉与0相同。

当#1=〈空〉时	当#1=0时
#2=#1 ↓ #2=〈空〉	#2=#1 ↓ #2=0

（续）

当#1 = 〈空〉时	当#1 = 0 时
#2 = #1 * 5 ↓ #2 = 0	#2 = #1 * 5 ↓ #2 = 0
#2 = #1 + #1 ↓ #2 = 0	#2 = #1 + #1 ↓ #2 = 0

（3）条件表达式　EQ 和 NE 中的〈空〉不等于 0。

当#1 = 〈空〉时	当#1 = 0 时	当#1 = 〈空〉时	当#1 = 0 时
#1EQ#0 ↓ 成立	#1EQ#0 ↓ 不成立	#1GE#0 ↓ 成立	#1GE#0 ↓ 不成立
#1NE#0 ↓ 成立	#1NE#0 ↓ 不成立	#1GT#0 ↓ 不成立	#1GT#0 ↓ 不成立

```
VARIABLE                                        O1234   N12345
    No.          DATA          No.        DATA
    100          12.456        108
    101          0.000         109
    102                        110
    103                        111
    104                        112
    105                        113
    106                        114
    107                        115
ACTUAL POSITION (RELATIVE)
X          0.000          Y          0.000
Z          0.000          B          0.000
MEM★★★★   ★★★   ★★★     18:42:15
[MACRO] [MENU] [OPR] [        ] [ (OPRT)]
```

1）当变量值是空白时，变量是空。

2）符号＊＊＊＊＊＊＊＊表示溢出（当变量的绝对值大于 99999999 时）或下溢出（当变量的绝对值小于 0.0000001 时）。

注意：程序号、顺序号和任选程序段跳转号不能使用变量。

例如：下面情况不能使用变量。

O#1;

/#2　G00　X100.0;

N#3　Y200.0;

1.3.2　系统变量

系统变量用于读和写 NC 内部数据，例如刀具偏置值和当前位置数据。但是，某些系统

变量只能读。系统变量是自动控制和通用程序开发的基础。

1. 接口信号

接口信号是可编程机床控制器（PMC）和用户宏程序之间交换的信号。表 1-8 为接口信号的系统变量。

表 1-8 接口信号的系统变量

变 量 号	功 能
（参数 No. 6001#0（MIF）=0）	
#1000～#1015 #1032	把 16 位信号从 PMC 送到用户宏程序。变量#1000～#1015 用于按位读取信号。变量#1032 用于一次读取一个 16 位信号
#1100～#1115 #1132	把 16 位信号从用户宏程序送到 PMC。变量#1100～#1115 用于按位写信号。变量#1132用于一次写一个 16 位信号
#1133	变量#1133 用于从用户宏程序一次写一个 32 位的信号到 PMC **注意：**#1133 的值为 -99999999～+999999990
（参数 No. 6001#0（MIF）=1 时）	
#1000～#1031	把 32 位信号从 PMC 送到用户宏程序。变量#1000～#1031 用于按位读取信号
#1100～#1131	把 32 位信号从用户宏程序送到 PMC。变量#1100～#1131 用于按位写信号
#1032～#1035	此系把 32 位信号统一写入到用户宏程序的变量，只能在 -99999999～+999999990 的范围内输入
#1132～#1135	此系把 32 位信号统一写入到用户宏程序的变量，只能在 -99999999～+999999990 的范围内输入

详细说明，请见连接说明书。

2. 刀具补偿值

用系统变量可以读和写刀具补偿值。可使用的变量数取决于刀补数，是否区分外形补偿和磨损补偿，以及是否区分刀长补偿和刀尖补偿。当偏置组数小于或等于 200 时，也可使用 #2001～#2400。表 1-9 为刀具补偿的变量。

表 1-9 刀具补偿的变量

补偿号	刀具长度补偿（H）		刀具半径补偿（D）	
	外形补偿	磨损补偿	外形补偿	磨损补偿
1	#11001（#2201）	#10001（#2001）	#13001	#12001
⋮	⋮	⋮		
200	#11201（#2400）	#10201（#2200）	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮		
400	#11400	#10400	#13400	#12400

3. 宏程序报警

宏程序报警的系统变量见表 1-10。

表 1-10 宏程序报警的系统变量

变量号	功 能
#3000	当变量#3000 值为 0～200 时，CNC 停止运行且报警。可在表达式后指定不超过 26 个字符的报警信息。CRT 屏幕上显示报警号和报警信息，其中报警号为变量#3000 的值加上 3000

例：#3000 = 1（TOOL NOT FOUND）→报警屏幕上显示“3001 TOOL NOT FOUND”（刀具未找到）。

4. 停止和信息显示

程序停止并显示信息，见表1-11。

表1-11　停止和信息显示功能

报警号	功　能
#3006	在宏程序中，指令“#3006 = 1（MESSAGE）;”时，程序在执行完前一程序段后停止。可在同一程序段中指定最多26个字符的信息，由控制输入“（”和控制输出“）”括住，相应信息显示在外部操作信息画面

5. 时间信息

时间信息可以读和写，其系统变量见表1-12。

表1-12　时间信息的系统变量

变量号	功　能
#3001	该变量为一个计时器，以毫秒（ms）为计时单位。当电源接通时，该变量值复位为0。当达到2147483648ms时，该计时器的值返回到0
#3002	该变量为一个计时器，以小时（h）为计时单位。该计时器即使在电源断电时也保存数值。当达到9544.371767h，该计时器的值返回到0
#3011	该变量用于读取当前的日期（年/月/日）。年/月/日信息转换成十进制数。例如，2001年9月28日表示为20010928
#3012	该变量用于读取当前的时间（时/分/秒）。时/分/秒信息转换成十进制数。例如，下午3点34分56秒表示为153456

6. 自动运行控制

自动运行控制可以改变自动运行的控制状态。系统变量见表1-13、表1-14。

表1-13　自动运行控制的系统变量（#3003）

#3003	单程序段	辅助功能的完成	#3003	单程序段	辅助功能的完成
0	有效	等待	2	有效	不等待
1	无效	等待	3	无效	不等待

（1）#3003

1）当电源接通时，该变量的值为0。

2）当单程序段停止无效时，即使单程序段开关设为ON，也不执行程序段停止。

3）当指定不等待辅助功能（M、S和T功能）完成时，在辅助功能完成之前，程序即执行到下一程序段，而且分配完成信号DEN不输出。

表1-14　自动运行控制的系统变量（#3004）

#3004	进给暂停	进给速度倍率	准确停止	#3004	进给暂停	进给速度倍率	准确停止
0	有效	有效	有效	4	有效	有效	无效
1	无效	有效	有效	5	无效	有效	无效
2	有效	无效	有效	6	有效	无效	无效
3	无效	无效	有效	7	无效	无效	无效

（2）#3004

1）当电源接通时，该变量的值为 0。

2）当进给暂停无效，进给暂停按钮被按下时，机床以单段停止方式停止，但是，当用变量#3003 使单程序段方式无效时，单程序段停止不执行；进给暂停按钮压下又松开时，进给暂停灯亮，但是机床不停止，程序继续执行，并且机床停在进给暂停有效的第一个程序段。

3）当进给速度倍率无效时，倍率总为 100%，而不管机床操作面板上的进给速度倍率开关的设置。

4）当准确停止检测无效时，即使那些不执行切削的程序段，也不进行准确停止检测（位置检测）。

图 1-7 为攻螺纹中使用变量#3004 的例子。

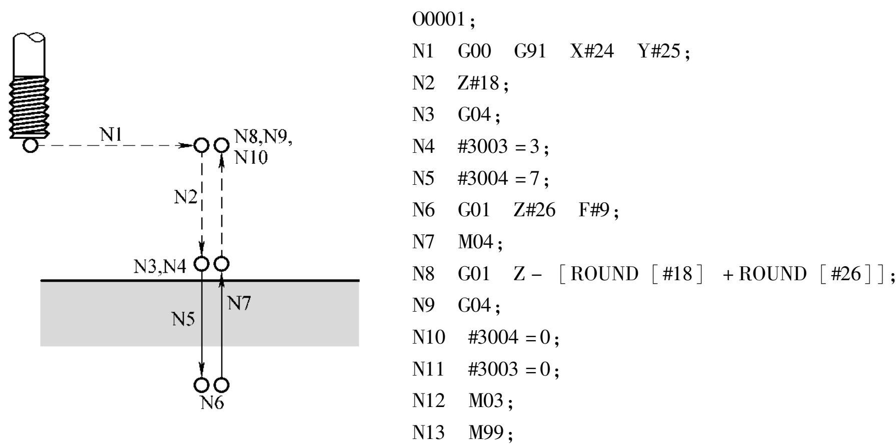


图 1-7　攻螺纹循环中使用变量#3004 的例子

7. SETTING 值

SETTING 值可用于变量读和写；二进制数转换为十进制数。

#3005								
	#15	#14	#13	#12	#11	#10	#9	#8
setting							FCV	
	#7	#6	#5	#4	#3	#2	#1	#0
setting			SEQ			INI	ISO	TVC

#9（FCV）：是否使用 FS10/11 纸带格式转换功能

#5（SEQ）：是否自动插入顺序号

#2（INI）：毫米输入或英寸输入

#1（ISO）：EIA 或 ISO 作为输出代码

#0（TVC）：是否进行 TV 校码

8. 镜像

使用外部开关或 SETTING 操作设置的各轴镜像状态可以通过输出信号（镜像检测信号）读出。可以检测当前的镜像状态。得到的二进制值转换成十进制。

#3007								
	#7	#6	#5	#4	#3	#2	#1	#0
SETTING					第 4 轴	第 3 轴	第 2 轴	第 1 轴
设定 [0（镜像功能无效） 1（镜像功能有效）]								
例：如果#3007 是 3，第 1 轴和第 2 轴的镜像功能有效								

1）当镜像信号和 SETTING 两者对某轴设置镜像功能时，信号值和设定值相或，然后输出。

2）当控制轴以外轴的镜像功能接通时，它们也被读进系统变量#3007。

3）系统变量#3007 是写保护的系统变量。如果试图在变量中写数据，则发出 P/S116 报警“WRITE PROTECTED VARIABLE”。

9. 已加工的零件数

要求的零件数（目标数）和已加工的零件数（完成数）可以读和写。系统变量见表 1-15。

表 1-15　要求的零件数和已加工的零件数的系统变量

变　量　号	功　　能
#3901	已加工的零件数（完成数）
#3902	要求的零件数（目标数）

注：不能用负值。

10. 模态信息

正在处理的程序段之前的模态信息可以读出。模态信息的系统变量见表 1-16。

表 1-16　模态信息的系统变量

变量号	功　　能	
#4001	G00，G01，G02，G03，G33，G75，G77，G78，G79	（组 01）
#4002	G17，G18，G19	（组 02）
#4003	G90，G91	（组 03）
#4004		（组 04）
#4005	G94，G95	（组 05）
#4006	G20，G21	（组 06）
#4007	G41，G42，G40	（组 07）
#4008	G43，G44，G49	（组 08）
#4009	G73，G74，G76，G80 ~ G89	（组 09）
#4010	G98，G99	（组 10）
#4011	G50，G51	（组 11）
#4012	G65，G66，G67	（组 12）
#4013	G96，G97	（组 13）
#4014	G54 ~ G59	（组 14）
#4015	G61 ~ G64	（组 15）

（续）

变量号	功　　能	
#4016	G68，G69	（组 16）
⋮	⋮	⋮
#4022	G50. 1，G50. 2	（组 22）
#4102	B 代码	
#4107	D 代码	
#4109	F 代码	
#4111	H 代码	
#4113	M 代码	
#4114	顺序号	
#4115	程序号	
#4119	S 代码	
#4120	T 代码	
#4130	P 代码（现在选择的附加工件坐标系）	

例：当执行#1 = #4002 时，在#1 中得到的值是 17、18 或 19。

对于不能使用的 G 代码组，如果指定系统变量读取相应的模态信息，则发出 P/S 报警。

11. 当前位置

位置信息不能写，只能读。表 1-17 为位置信息的系统变量。

表 1-17　位置信息的系统变量

<table>
<tr><th>变量号</th><th>位置信息</th><th>坐标系</th><th>刀具补偿</th><th>运动时的读操作</th></tr>
<tr><td>#5001 ~ #5004</td><td>程序段终点</td><td>工件坐标系</td><td>不包含</td><td>可能</td></tr>
<tr><td>#5021 ~ #5024</td><td>当前位置</td><td>机床坐标系</td><td rowspan="3">包含</td><td rowspan="2">不可能</td></tr>
<tr><td>#5041 ~ #5044</td><td>当前位置</td><td rowspan="2">工件坐标系</td></tr>
<tr><td>#5061 ~ #5064</td><td>跳转信号位置</td><td>可能</td></tr>
<tr><td>#5081 ~ #5084</td><td>刀具长度补偿值</td><td></td><td></td><td rowspan="2">不可能</td></tr>
<tr><td>#5101 ~ #5104</td><td>伺服位置偏差</td><td></td><td></td></tr>
</table>

1）第一位代表轴号（从 1 ~ 4）。

2）变量#5081 ~ #5084 存储的刀具长度补偿值是当前的执行值，不是后面程序段的处理值。

3）在 G31（跳转功能）程序段中，跳转信号接通时的刀具位置储存在变量#5061 ~ #5064中。当 G31 程序段中的跳转信号未接通时，这些变量储存指定程序段的终点值。

4）移动期间不能读是由于缓冲（预读）功能的原因，不能读期望值。

12. 工件坐标系补偿值（工件零点偏移值）

工件零点偏移值可以读和写。工件零点偏移值的系统变量见表 1-18。允许使用的变量见表 1-19。

表 1-18　工件零点偏移值的系统变量

变量号	功　　能	变量号	功　　能
#5201 ⋮ #5204	第 1 轴外部工件零点偏移值 ⋮ 第 4 轴外部工件零点偏移值	#5301 ⋮ #5304	第 1 轴 G58 工件零点偏移值 ⋮ 第 4 轴 G58 工件零点偏移值
#5221 ⋮ #5224	第 1 轴 G54 工件零点偏移值 ⋮ 第 4 轴 G54 工件零点偏移值	#5321 ⋮ #5324	第 1 轴 G59 工件零点偏移值 ⋮ 第 4 轴 G59 工件零点偏移值
#5241 ⋮ #5244	第 1 轴 G55 工件零点偏移值 ⋮ 第 4 轴 G55 工件零点偏移值	#7001 ⋮ #7004	第 1 轴工件零点偏移值（G54.1　P1） ⋮ 第 4 轴工件零点偏移值（G54.1　P1）
#5261 ⋮ #5264	第 1 轴 G56 工件零点偏移值 ⋮ 第 4 轴 G56 工件零点偏移值	#7021 ⋮ #7024	第 1 轴工件零点偏移值（G54.1　P2） ⋮ 第 4 轴工件零点偏移值（G54.1　P2）
		⋮	⋮
#5281 ⋮ #5284	第 1 轴 G57 工件零点偏移值 ⋮ 第 4 轴 G57 工件零点偏移值	#7941 ⋮ #7944	第 1 轴工件零点偏移值（G54.1　P48） ⋮ 第 4 轴工件零点偏移值（G54.1　P48）

表 1-19　允许使用的变量

轴	功　　能	变　量　号		轴	功　　能	变　量　号	
第一轴	外部工件零点偏移	#2500	#5201	第三轴	外部工件零点偏移	#2700	#5203
	G54 工件零点偏移	#2501	#5221		G54 工件零点偏移	#2701	#5223
	G55 工件零点偏移	#2502	#5241		G55 工件零点偏移	#2702	#5243
	G56 工件零点偏移	#2503	#5261		G56 工件零点偏移	#2703	#5263
	G57 工件零点偏移	#2504	#5281		G57 工件零点偏移	#2704	#5283
	G58 工件零点偏移	#2505	#5301		G58 工件零点偏移	#2705	#5303
	G59 工件零点偏移	#2506	#5321		G59 工件零点偏移	#2706	#5323
第二轴	外部工件零点偏移	#2600	#5202	第四轴	外部工件零点偏移	#2800	#5204
	G54 工件零点偏移	#2601	#5222		G54 工件零点偏移	#2801	#5224
	G55 工件零点偏移	#2602	#5242		G55 工件零点偏移	#2802	#5244
	G56 工件零点偏移	#2603	#5262		G56 工件零点偏移	#2803	#5264
	G57 工件零点偏移	#2604	#5282		G57 工件零点偏移	#2804	#5284
	G58 工件零点偏移	#2605	#5302		G58 工件零点偏移	#2805	#5304
	G59 工件零点偏移	#2606	#5322		G59 工件零点偏移	#2806	#5324

1.3.3　算术和逻辑运算

表 1-20 列出的运算可以在变量中执行。运算符右边的表达式可包含常量和/，或由函数、运算符组成的变量。表达式中的变量#j 和#k 可以用常数替换。左边的变量也可以用表达式赋值。

表 1-20　算术和逻辑运算

功能	格式	备注
定义	#i = #j	
加法 减法 乘法 除法	#i = #j + #k #i = #j − #k #i = #j * #k #i = #j/#k	
正弦 反正弦 余弦 反余弦 正切 反正切	#i = SIN［#j］ #i = ASIN［#j］ #i = COS［#j］ #i = ACOS［#j］ #i = TAN［#j］ #i = ATAN［#j］/［#k］	角度以度（°）为单位，如：90°30′表示成 90.5°
平方根 绝对值 舍入 上取整 下取整 自然对数 指数函数	#i = SQRT［#j］ #i = ABS［#j］ #i = ROUND［#j］ #i = FIX［#j］ #i = FUP［#j］ #i = LN［#j］ #i = EXP［#j］	
或（OR） 异或（XOR） 与（AND）	#i = #jOR#k #i = #jXOR#k #i = #jAND#k	逻辑运算一位一位地按二进制数执行
从 BCD 码转换成 BIN 码 将 BIN 码转换成 BCD 码	#i = BIN［#j］ #i = BCD［#j］	用于与 PMC 间信号的交换

1. 角度单位

函数 SIN、COS、ASIN、ACOS、TAN 和 ATAN 中所用的角度单位是度（°）。

2. ARCSIN #i = ASIN［#j］

1）取值范围如下：

a）当参数（No. 6004#0）NAT 位设为 0 时，取值范围为 90° ~270°。

b）当参数（No. 6004#0）NAT 位设为 1 时，取值范围为 −90° ~90°。

2）当#j 超出 −1 ~ +1 的范围时，发出 P/S 报警 No. 111。

3）常数可替代变量#j。

3. ARCCOS #i = ACOS［#j］

1）取值范围从 0° ~180°。

2）当#j 超出 −1 ~ +1 的范围时，发出 P/S 报警 No. 111。

3）常数可以代替变量#j。

4. ARCTAN

指定两个边的长度，并用斜杠（/）分开。

5. #i = ATAN［#j］/［#k］

1）取值范围如下：

a）当 NAT 位（参数 No. 6004，#0）设为 0 时，取值范围为 0°~360°。

例如：当指定#1 = ATAN［－1］/［1］时，#1 = 225°。

b）当 NAT 位（参数 No. 6004，#0）设为 1 时，取值范围为 －180°~180°。

例如：当指定#1 = ATAN［－1］/［1］时，#1 = －135.0°。

2）常数可以代替变量#j。

6. 自然对数#i = LN［#j］

1）注意，相对误差可能大于 10^{-8}。

2）当反对数（#j）为 0 或小于 0 时，发出 P/S 报警 No. 111。

3）常数可以代替变量#j。

7. 指数函数#i = EXP［#j］

1）注意，相对误差可能大于 10^{-8}。

2）当运算结果超过 3.65×10^{47}（j 大约是 110）时，出现溢出并发出 P/S 报警 No. 111。

3）常数可以代替变量#j。

8. ROUND（舍入）函数

1）当算术运算或逻辑运算指令 IF 或 WHILE 中包含 ROUND 函数时，则 ROUND 函数在第 1 个小数位置四舍五入。

例如：当执行#1 = ROUND［#2］时，此处#2 = 1.2345，变量 1 的值是 1.0。

2）当在 NC 语句地址中使用 ROUND 函数时，ROUND 函数根据地址的最小设定单位将指定值四舍五入。

例如：编制一个钻削加工程序，按变量#1、#2 的值进行切削，然后返回到初始位置。假定最小设定单位是 1/1000mm，变量#1 = 1.2345，变量#2 = 2.3456，则

G00　G91　X－#1；移动 1.235mm

G01　X－#2　F300；移动 2.346mm

G00　X［#1 + #2］；由于 1.2345 + 2.3456 = 3.5801，移动距离为 3.580mm，刀具不能返回到初始位置。而换成 G00　X［ROUND［#1］+ ROUND［#2］］，则能返回到初始点。

该误差来自在钻入时，钻入深度是分别按变量#1 和#2 的舍入值钻削的，而返回时是按变量#1 和#2 的和舍入的，所以刀具不会返回到初始值；如果要使刀具返回初始值，则必须在返回程序段（G00　X［#1 + #2］）之前，指定钻削程序段中的变量#2 为函数（G00　X－［ROUND［#2］］。

9. 上取整和下取整

CNC 处理数值运算时，若操作后产生的整数绝对值大于原数的绝对值时，为上取整；若小于原数的绝对值时，为下取整。对于负数的处理应小心。

例如：假设#1 = 1.2、#2 = －1.2。

当执行#3 = FUP［#1］时，2.0 赋给#3。

当执行#3 = FIX［#1］时，1.0 赋给#3。

当执行#3 = FUP［#2］时，－2.0 赋给#3。

当执行#3 = FIX［#2］时，－1.0 赋给#3。

10. 算术与逻辑运算指令的缩写

程序中指定函数时，函数名的前两个字符可以用于指定该函数。

例如：ROUND→RO

　　　FIX→FI

11. 运算次序

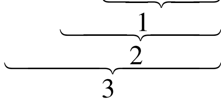
运算次序为

1）函数。

2）乘和除运算（*、/、AND）。

3）加和减运算（+、-、OR、XOR）。

例：#1 = #2 + #3 * SIN［#4］;

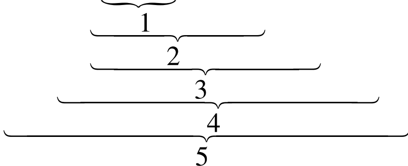


1、2 和 3 表示运算次序

12. 括号嵌套

括号用于改变运算次序。括号可以使用 5 级，包括函数内部使用的括号。当超过 5 级时，出现 P/S 报警 No. 118。

例：#1 = SIN［［［#2 + #3］* #4 + #5］* #6］;



1 ~ 5 表示运算次序

注意：

1）方括号用于封闭表达式，圆括号用于注释。

2）运算时，可能出现误差，见表 1-21。

表 1-21　运算中的误差

运算	平均误差	最大误差	误差类型
$a = b * c$	1.55×10^{-10}	4.66×10^{-10}	相对误差① $\left\|\frac{\varepsilon}{a}\right\|$
$a = b/c$	4.66×10^{-10}	1.88×10^{-9}	
$a = \sqrt{b}$	1.24×10^{-9}	3.73×10^{-9}	
$a = b + c$ $a = b - c$	2.33×10^{-10}	5.32×10^{-10}	最小 $\left\|\frac{\varepsilon}{b}\right\| \cdots \left\|\frac{\varepsilon}{c}\right\|$②
a = SIN［b］ a = COS［b］	5.0×10^{-9}	1.0×10^{-8}	绝对误差③ $\|\varepsilon\|$
a = ATAN［b］/［c］④	1.8×10^{-6}	3.6×10^{-6}	

注：如果 SIN、COS 或 TAN 函数的运算结果小于 1.0×10^{-8}，或由于运算精度的限制不为 0 的话，设定参数 No. 6004 #1 为 1，则运算结果可以推算为 0。

① 相对误差取决于运算结果。

② 使用两类误差的较小者。

③ 绝对误差是常数，而不管运算结果。

④ 函数 TAN 执行 SIN/COS。

3）变量值的精度约为 8 位十进制数。当在加/减运算中处理非常大的数时，将得不到期望的结果。

例如：当试图把下面的值赋给变量#1 和#2 时，

#1 =9876543210123.456

#2 =9876543277777.777

变量值变成：

#1 =9876543200000.000

#2 =9876543300000.000

此时，当计算#3 =#2 -#1 时，结果为#3 =100000.000。（该计算的实际结果稍有误差，因为是以二进制执行的。）

4）还应该意识到，使用条件表达式 EQ、NE、GE、GT、LE 和 LT 时可能造成误差。

例如：IF［#1EQ#2］的运算会受#1 和#2 误差的影响，由此会造成错误的判断。因此，应该用 IF［ABS［#1 -#2］LT0.001］代替上述语句，以避免两个变量的误差。

当两个变量的差值未超过允许极限（此处为 0.001）时，则认为两个变量的值是相等的。

5）使用下取整指令时应小心。

例如：当计算#2 =#1 *1000，式中#1 =0.002 时，变量#2 的结果不是准确的 2，可能是 1.99999997。

这里，当指定#3 =FIX［#2］时，变量 3 的结果不是 2，而是 1.0。此时，可先纠正误差，再执行下取整；或是用如下的四舍五入操作，即可得到正确结果。

#3 =FIX［#2 +0.001］

#3 =ROUND［#2］

13. 除数

当在除法或 TAN［90］中指定为 0 的除数时，出现 P/S 报警 No.112。

1.3.4　宏程序语句和 NC 语句

下面的程序段为宏程序语句：

1）包含算术或逻辑运算（=）的程序段。

2）包含控制语句（例如 GOTO、DO、END）的程序段。

3）包含宏程序调用指令（例如用 G65、G66、G67 或其他 G 代码、M 代码调用宏程序）的程序段。

除了宏程序语句以外的任何程序段都为 NC 语句。

1. 宏程序与 NC 语句的不同

1）即使置于单程序段运行方式，机床也不停止。但是，当参数 NO.6000#5SBM 设定为 1 时，在单程序段方式中机床停止。

2）在刀具半径补偿方式中，宏程序语句段不作为不移动程序段处理。

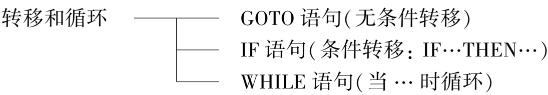
2. 与宏程序语句有相同性质的 NC 语句

1）含有子程序调用指令（例如用 M98 或其他 M 代码，或 T 代码调用子程序），但没有除 O、N 或 L 地址之外的其他地址指令的 NC 语句，其性质与宏程序语句相同。

2）不包含除 O、N、P 或 L 以外的指令地址的程序段，其性质与宏程序语句相同。

1.3.5　转移和循环

在程序中，使用 GOTO 语句和 IF 语句可以改变控制的流向。有三种转移和循环操作可供使用：



1. 无条件转移（GOTO 语句）

转移到标有顺序号 n 的程序段。当指定 1 ~ 99999 以外的顺序号时，出现 P/S 报警 No. 128。可用表达式指定顺序号。

指令格式：GOTO n ；n 为顺序号（1 ~ 99999）

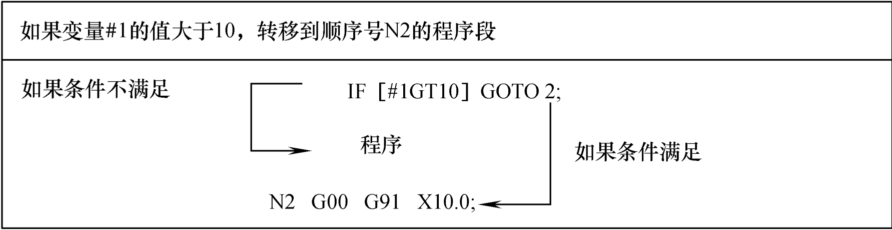
例如：GOTO 1；

GOTO #10；

2. 条件转移（IF 语句）

指令格式 1：IF ［ <条件表达式> ］ GOTO n；IF 之后指定条件表达式

如果指定的条件表达式满足时，转移到标有顺序号 n 的程序段。如果指定的条件表达式不满足时，执行下一个程序段。



指令格式 2：IF ［ <条件表达式> ］ THEN；

如果指定的条件表达式满足时，执行预先决定的宏程序语句。只执行一个宏程序语句。

例如：如果#1 和#2 的值相同，0 赋给#3。

指令格式：IF ［#1 EQ #2］ THEN #3 = 0；

1）条件表达式。条件表达式必须包括运算符。运算符插在两个变量中间或变量和常数中间，并且用括号（ ［，］）封闭。表达式可以替代变量。

2）运算符。运算符由 2 个字母组成，用于两个值的比较，以决定它们是相等还是一个值小于或大于另一个值。注意，不能使用不等号。表 1-22 为运算符含义。

表 1-22　运算符含义

运算符	含　义	运算符	含　义
EQ	等于（ = ）	GE	大于或等于（ ≥ ）
NE	不等于（ ≠ ）	LT	小于（ < ）
GT	大于（ > ）	LE	小于或等于（ ≤ ）

3）编程举例。用程序计算数值 1 ~ 10 的总和。

O9500；程序名

N10　#1 = 0；存储和的变量初值

N20　#2 = 1；被加数变量的初值

N30　IF［#2 GT 10］GOTO 70；当被加数#2 大于 10 时，程序转移到 N70

N40　#1 = #1 + #2；计算和

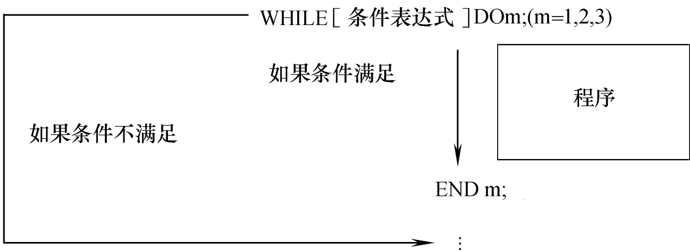
N50　#2 = #2 + #1；下一个被加数

N60　GOTO 30；转到 N30

N70　M30；程序结束

3. 循环（WHILE）语句

在 WHILE 后指定一个条件表达式。当指定条件满足时，执行从 DO 到 END 之间的程序；否则，转而执行 END 之后的程序段。与 IF 语句的指令格式相同。DO 后的数和 END 后的数为指定程序执行范围的标号，标号值为 1、2、3。若用 1、2、3 以外的值会产生 P/S 报警 No. 126。



1）嵌套。在 DO—END 循环中的标号（1～3）可根据需要多次使用。但是当程序有交叉重复循环（DO 范围重叠）时，出现 P/S 报警 No. 124。见表 1-23 循环嵌套表。

2）无限循环。当指定 DO 而没有指定 WHILE 语句时，产生从 DO 到 END 的无限循环。

3）处理时间。在处理有标号转移的 GOTO 语句时，进行顺序号检索。反向检索所需的时间要比正向检索长。用 WHILE 语句实现循环可减少处理时间。

4）未定义的变量。在使用 EQ 或 NE 的条件表达式中，<空>和零有不同的效果。在其他形式的条件表达式中，<空>被当作零。

表 1-23　循环嵌套表

1. 标号（1～3）可以根据要求多次使用	2. DO 的范围不能交叉
WHILE［…］DO 1; 程序 END 1; ⋮ WHILE［…］DO 1; 处理 END 1;	WHILE［…］DO 1; 程序 WHILE［…］DO 2; ⋮ END 1; 程序 END 2;

（续）

3. DO 循环可以嵌套 3 级

```
WHILE [ … ] DO 1;
    ⋮
  WHILE [ … ] DO 2;
      ⋮
    WHILE [ … ] DO 3;
      程序
    END 3;
      ⋮
  END 2;
    ⋮
END 1;
```

4. 控制可以转移到循环的外边

```
WHILE [ … ] DO 1;
IF [ … ] GOTO n;
END 1;
Nn
```

5. 转移不能进入循环区内

```
IF [ … ] GOTO n;
  ⋮
WHILE [ … ] DO 1;
Nn …;
END 1;
```

5）编程举例。用程序计算数值 1 ~ 10 的总和。

O0001；程序名

N10　#1 = 0；存储和的变量初值

N20　#2 = 1；被加数变量的初值

N30　WHILE［#2 GE 10］DO 1；当被加数#2 大于或等于 10 时，程序转移到 N70

N40　#1 = #1 + #2；计算和

N50　#2 = #2 + #1；下一个被加数

N60　END1；

N70　M30；程序结束

1.3.6　宏程序调用

（1）宏程序调用方法

宏程序调用
- 非模态代码调用（G65）
- 模态代码调用（G66、G67）
- 用 G 代码调用宏程序
- 用 M 代码调用宏程序
- 用 M 代码调用子程序
- 用 T 代码调用子程序

（2）宏程序调用和子程序调用之间的差别　宏程序调用（G65）不同于子程序调用

（G98），如下所述：

1）G65 可以指定自变量（数据传送到宏程序），M98 没有该功能。

2）当 M98 程序段包含另一个 NC 指令（例如：G01　X100.0　M98　Pp）时，在指令执行之后调用子程序。相反，G65 无条件地调用宏程序。

3）当 M98 程序段包含另一个 NC 指令（例如：G01　X100.0　M98　Pp）时，在单程序段方式中，机床停止。相反，G65 机床不停止。

4）用 G65，改变局部变量的级别；用 M98，不改变局部变量的级别。

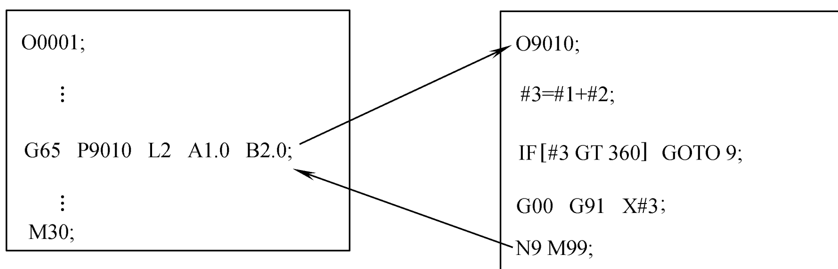
1. 非模态代码调用（G65）

当指定 G65 时，以地址 P 指定的用户宏程序被调用。数据（自变量）能传递到用户宏程序体中。

指令格式：G65 Pp Lℓ <自变量表>；

其中：p 为要调用的程序号，ℓ为重复的次数（默认值为 1），自变量为传递到宏程序的数据。

例如：下列程序中#1 = 1.0，#2 = 2.0。



（1）调用

1）在 G65 之后，用地址 P 指定用户宏程序的程序号。

2）当要求重复时，在地址 L 后指定从 1～9999 的重复次数。省略 L 值时，认为 L 等于 1。

3）使用自变量指定，其值被赋到相应的局部变量。

（2）自变量指定　可用两种形式的自变量指定。自变量指定 Ⅰ 使用除了 G、L、O、N 和 P 之外的字母，每个字母指定一次。自变量指定 Ⅱ 使用 A、B、C 和 I_i、J_i、K_i（i 为 1～10）。根据使用的字母，自动决定自变量指定的类型。

1）自变量指定 Ⅰ

地址	变量号	地址	变量号	地址	变量号
A	#1	I	#4	T	#20
B	#2	J	#5	U	#21
C	#3	K	#6	V	#22
D	#7	M	#13	W	#23
E	#8	Q	#17	X	#24
F	#9	R	#18	Y	#25
H	#11	S	#19	Z	#26

a）地址 G、L、N、O 和 P 不能在自变量中使用。

b）不需要指定的地址可以省略，对应于省略地址的局部变量为空。

c）地址不需要按字母顺序指定，但应符合字母地址的格式。I、J 和 K 需要按字母顺序指定。

举例：B __　A __　D __…J __　K __正确

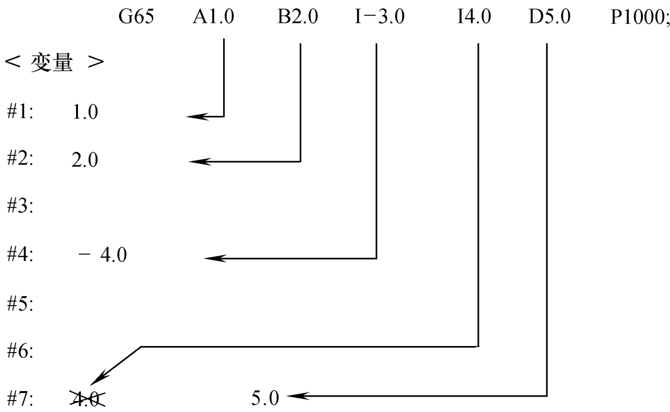
　　　B __　A __　D __…J __　I __不正确

2）自变量指定Ⅱ：使用 A、B 和 C 各 1 次，I、J、K 各 10 次。自变量指定Ⅱ用于传递诸如三维坐标值。I、J、K 的下标用于确定自变量指定的顺序，在实际编程中不写。

地址	变量号	地址	变量号	地址	变量号
A	#1	K_3	#12	J_7	#23
B	#2	I_4	#13	K_7	#24
C	#3	J_4	#14	I_8	#25
I_1	#4	K_4	#15	J_8	#26
J_1	#5	I_5	#16	K_8	#27
K_1	#6	J_5	#17	I_9	#28
I_2	#7	K_5	#18	J_9	#29
J_2	#8	I_6	#19	K_9	#30
K_2	#9	J_6	#20	I_{10}	#31
I_3	#10	K_6	#21	J_{10}	#32
J_3	#11	I_7	#22	K_{10}	#33

（3）格式　任何自变量前必须指定 G65。

（4）自变量指定Ⅰ、Ⅱ混合使用　CNC 内部自动识别自变量Ⅰ和自变量Ⅱ。如果自变量指定Ⅰ和自变量指定Ⅱ混合使用，后指定的自变量类型有效。举例如下：

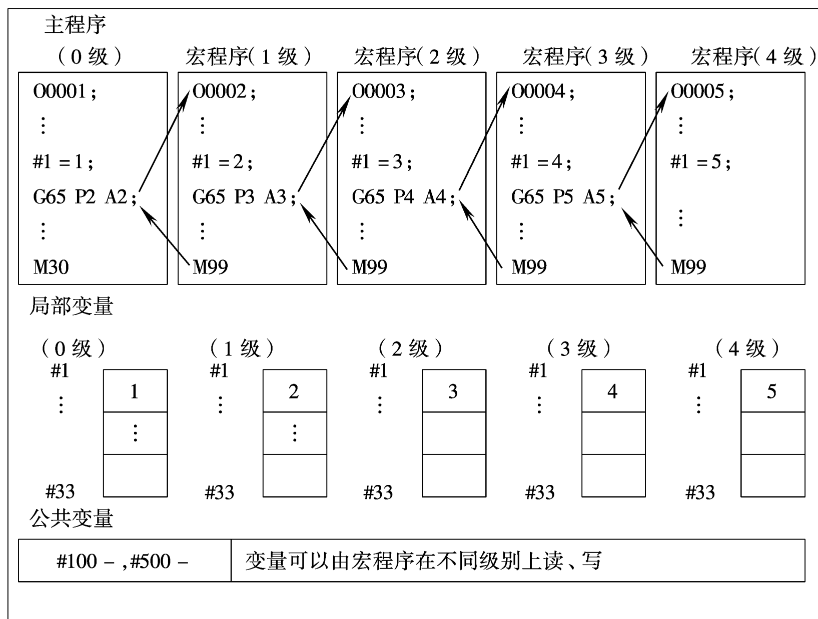


本例中，I4.0 和 D5.0 自变量都分配给变量#7，后者 D5.0 有效。

（5）小数点的位置　不带小数点的自变量，其数据单位为各地址的最小设定单位。传递不带小数点的自变量，其值会根据机床实际的系统配置变化。在宏程序调用中，使用小数点可使程序兼容性好。

（6）调用嵌套　调用可以嵌套 4 级，包括非模态代码调用（G65）和模态代码调用（G66），但不包括子程序调用（M98）。

（7）局部变量的级别



1）局部变量嵌套从 0 到 4 级。

2）主程序是 0 级。

3）宏程序每调用 1 次（用 G65 或 G66），局部变量级别加 1。前 1 级的局部变量值保存在 CNC 中。

4）当宏程序执行 M99 时，控制返回到调用程序。此时，局部变量级别减 1，并恢复宏程序调用时存储的局部变量值。

（8）程序示例　编制一个宏程序加工轮圆上的圆周螺纹孔（图 1-8）。圆周上的半径为 I，起始角为 A，间隔为 B，钻孔数为 H，圆的中心是（X，Y）。指令可以用绝对值或增量值指定。顺时针方向钻孔时，B 应指定负值。

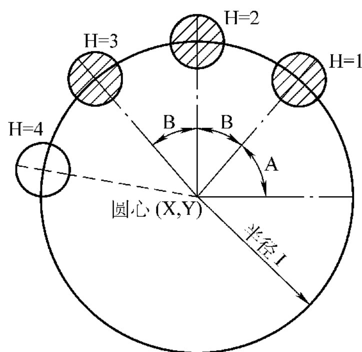


图 1-8　圆周螺纹孔

1）调用格式。

G65　P9100　Xx　Yy　Zz　Rr　Ff　Ii　Aa　Bb　Hh；

X：圆心的 X 坐标（绝对值或增量值指定）（#24）

Y：圆心的 Y 坐标（绝对值或增量值指定）（#25）

Z:孔深(#26)
R:趋近点坐标(#18)
F:切削进给速度(#9)
I:圆半径(#4)
A:第一孔的角度(#1)
B:增量角(#2)
H:孔数(#11)
2）宏程序调用程序。

```
O0002;主程序名
G90 G92 X0 Y0 Z100.0;
G65 P9100 X100.0 Y50.0 R30.0 Z-50.0 F500 I100.0 A0 B45.0 H5;
M30;
```

变量的含义:
#3:储存 03 组的 G 代码
#5:下个孔的 X 坐标
#6:下个孔的 Y 坐标
3）宏程序(被调用的程序)。

```
O9100;主程序名
#3=#4003;储存 03 组 G 代码
G81 Z#26 R#18 F#9 K0;钻孔循环(K0 也可以换成 L0)
IF[#3 EQ 90] GOTO 1;在 G90 方式下转移到 N1
#24=#5001+#24;计算圆心的 X 坐标
#25=#5002+#25;计算圆心的 Y 坐标
N1 WHILE[#11 GT 0]DO 1;直到剩余孔数为 0
#5=#24+#4*COS[#1];计算 X 轴上的孔位
#6=#25+#4*SIN[#1];计算 Y 轴上的孔位
G90 X#5 Y#6;移动到目标位置之后执行钻孔
#1=#1+#2;更新角度
#11=#11-1;孔数减 1
END 1;
G#3 G80;返回原始状态的 G 代码
M99;
```

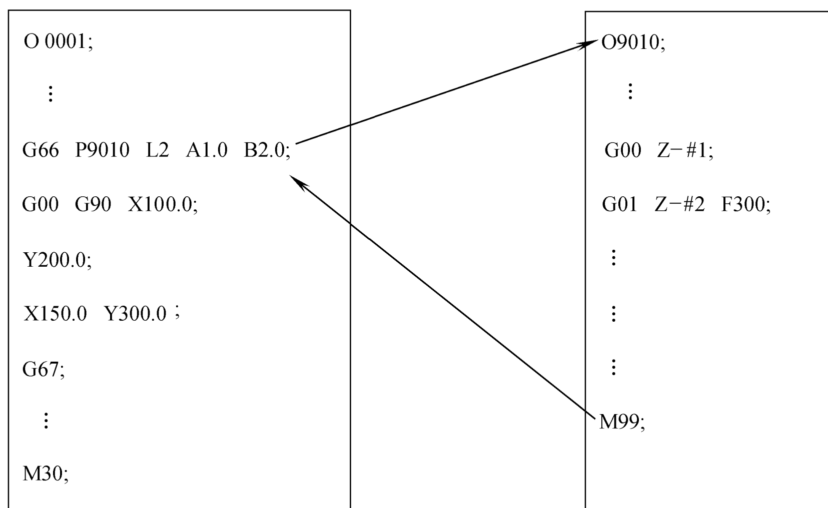
2. 模态代码调用（G66）

一旦发出 G66，则指定为模态代码调用，即在指定轴移动的程序段后调用宏程序。G67 为取消模态代码调用。

指令格式：G66 Pp Lℓ<自变量表>；

其中：p 为要调用的程序号，ℓ为重复的次数（默认值为 1），自变量为传递到宏程序的数据。

（1）调用



1）在 G66 之后，用地址 P 指定模态代码调用的程序号。

2）当要求重复时，在地址 L 后指定从 1 ~9999 的重复次数。

3）与非模态代码调用（G65）相同，自变量指定的数据传递到宏程序体中。

（2）取消　指定 G67 代码后，其后面的程序段不再执行模态宏程序调用。

（3）调用嵌套　调用可以嵌套 4 级，包括非模态代码调用（G65）和模态代码调用（G66），但不包括子程序调用（M98）。

（4）模态代码调用嵌套　在模态代码调用期间，指定另一个 G66 代码，可以嵌套模态代码调用。

注意：

1）在 G66 程序段中，不能调用宏程序。

2）G66 必须在自变量之前指定。

3）在只有诸如辅助功能，但无移动指令的程序段中不能调用宏程序。

4）局部变量（自变量）只能在 G66 程序段中指定。每次执行模态代码调用时，不再设定局部变量。

（5）程序示例　用宏程序编制 G81 固定循环的操作（图 1-9）。加工程序使用模态代码调用，为了简化程序，使用绝对值指定全部的钻孔数据。

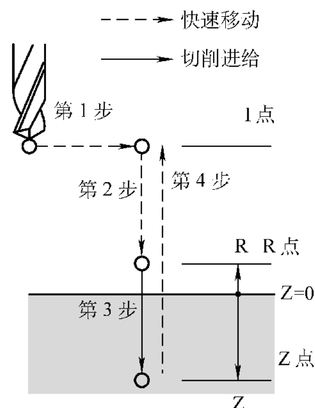


图 1-9　G81 固定循环

固定循环是由下面的基本动作组成的：

第 1 步：沿 X 轴和 Y 轴定位；

第 2 步：快速移动到 R 点；

第 3 步：切削进给到 Z 点；

第 4 步：快速退回到 R 点或 I 点。

1）调用格式。

G65　P9100　Xx　Yy　Zz　Rr　Ff　L1；

X：孔的 X 坐标（由绝对值指定）（#24）

Y：孔的 Y 坐标（由绝对值指定）（#25）

Z：Z 点坐标（由绝对值指定）（#26）
R：R 点坐标（由绝对值指定）（#18）
F：切削进给速度（#9）
L：重复次数
2）宏程序调用程序。

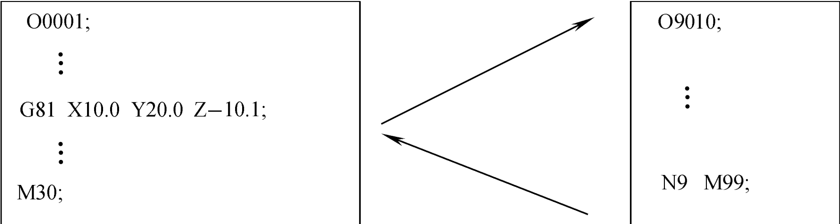
```
O0001;
G28  G91  X0  Y0  Z0;
G92  X0  Y0  Z50.0;
G00  G90  X100.0  Y50.0;
G66  P9100  Z-20.0  R5.0  F500;
G90  X20.0  Y20.0;
X50.0;
Y50.0;
X70.0  Y80.0;
G67;
M30;
```

3）宏程序（被调用的程序）。

```
O9100;
#1=#4001;储存 G00/G01
#2=#4003;储存 G90/G91
#3=#4109;储存切削进给速度
#5=#5003;储存钻孔开始的 Z 坐标
G00  G90  Z#18;定位在 R 点
G01  Z#26  F#9;切削进给到 Z 点
IF [#4010 EQ 98]  GOTO  1;返回到 I 点
G00  Z#18;定位在 R 点
GOTO2;
N1  G00  Z5;定位在 I 点
N2  G#1  G#3  F#4;恢复模态信息
M99;
```

3. 用 G 代码调用宏程序

在参数中设置调用宏程序的 G 代码，方法与非模态代码调用（G65）相同。



说明：在参数（No. 6050 ~ No. 6059）中设置调用宏程序（O9010 ~ O9019）的 G 代码号（从 1 ~ 9999），调用用户宏程序的方法与 G65 相同。例如设置参数，由 G81 调用宏程序 O9010，不用修改加工程序就可以调用由用户宏程序编制的加工循环。

（1）参数号和程序号之间的对应关系

程序号	O9010	O9011	O9012	O9013	O9014	O9015	O9016	O9017	O9018	O9019
参数号	6050	6051	6052	6053	6054	6055	6056	6057	6058	6059

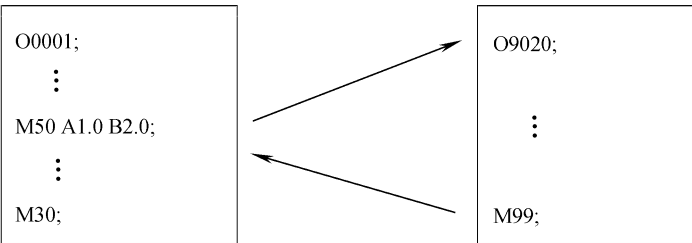
（2）重复　与非模态代码调用一样，地址 L 中指定从 1 ~ 9999 的重复次数。

（3）自变量指定　与非模态代码调用一样，可以使用两种自变量指定类型：自变量指定Ⅰ和自变量指定Ⅱ。根据使用的地址自动决定自变量的指定类型。

（4）使用 G 代码的宏调用嵌套　在 G 代码调用的程序中，不能用 G 代码调用宏程序，这种程序中的 G 代码被处理为普通 G 代码。在用 M 或 T 代码调用的子程序中，不能用 G 代码调用宏程序。这种程序中的 G 代码也处理为普通 G 代码。

4. 用 M 代码调用宏程序

在参数中设置调用宏程序的 M 代码，方法与非模态代码调用（G65）相同。



参数 No.6080=50

说明：在参数（No. 6080 ~ No. 6089）中设置调用用户宏程序（O9020 ~ O9029）的 M 代码（从 1 ~ 99999999）。调用宏程序的方法与 G65 相同。

（1）参数号与程序号之间的对应关系

程序号	O9020	O9021	O9022	O9023	O9024	O9025	O9026	O9027	O9028	O9029
参数号	6080	6081	6082	6083	6084	6085	6086	6087	6088	6089

（2）重复　与非模态代码调用一样，地址 L 中指定从 1 ~ 9999 的重复次数。

（3）自变量指定　与非模态代码调用一样，可以使用两种自变量指定类型：自变量指定Ⅰ和自变量指定Ⅱ。根据使用的地址自动决定自变量的指定类型。

（4）注意

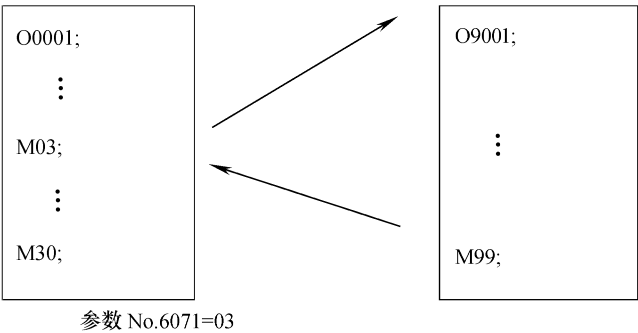
1）调用宏程序的 M 代码必须在程序段的开头指定。

2）用 G 代码调用的宏程序，或用 M、T 代码调用的子程序中，不能用 M 代码调用宏程序。这种宏程序或子程序中的 M 代码被处理为普通 M 代码。

5. 用 M 代码调用子程序

在参数中设置调用子程序（宏程序）的 M 代码号，按与子程序调用（M98）相同的方

法调用宏程序。



参数 No.6071=03

说明：在参数（No. 6071 ~ No. 6079）中设置调用子程序的 M 代码（从 1 ~ 99999999），相应的用户宏程序（O9001 ~ O9009）可按与 M98 同样的方法调用。

（1）参数号与程序号之间的对应关系

程序号	O9001	O9002	O9003	O9004	O9005	O9006	O9007	O9008	O9009
参数号	6071	6072	6073	6074	6075	6076	6077	6078	6079

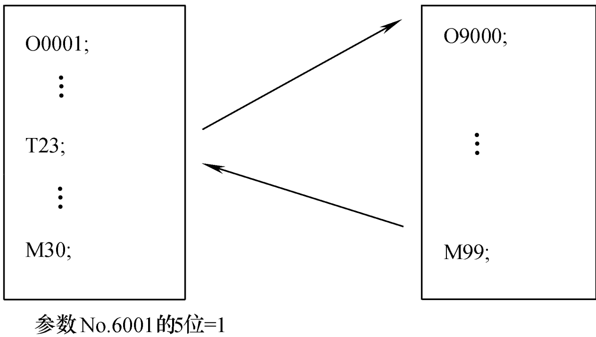
（2）重复　与非模态代码调用一样，地址 L 中指定从 1 ~ 9999 的重复次数。

（3）自变量指定　不允许指定自变量。

（4）M 代码　在宏程序中调用的 M 代码被处理为普通 M 代码。

注意：用 G 代码调用的宏程序，或用 M、T 代码调用的子程序中，不能使用 M 代码调用子程序。这种宏程序或程序中的 M 代码被处理为普通 M 代码。

6. 用 T 代码调用子程序



参数 No.6001 的5位=1

通过设定参数，可使用 T 代码调用子程序（宏程序），每当在加工程序中指定 T 代码时，即调用宏程序。

设置参数 No. 6001 的 5 位 TCS = 1，当在加工程序中指定 T 代码时，可以调用宏程序 O9000。在加工程序中，指定的 T 代码赋值到公共变量#149。

注意：用 G 代码调用的宏程序中，或用 M、T 代码调用的程序中，不能用 T 代码调用子程序。这种宏程序或程序中的 T 代码被处理为普通 T 代码。

7. 示例程序

使用 M 代码调用子程序，实现测量每把刀具的累积使用时间。

（1）条件

1）测量 T01 ~ T05 各把刀具的累积使用时间。刀号大于 T05 的刀具不进行测量。

2）下面的变量用于储存刀号和测量的时间。

#501	刀号 1 的累积使用时间
#502	刀号 2 的累积使用时间
#503	刀号 3 的累积使用时间
#504	刀号 4 的累积使用时间
#505	刀号 5 的累积使用时间

3）当指定 M03 时，开始计算使用时间；当指定 M05 时，停止计算。在循环启动灯亮期间，用系统变量#3002 测量该时间。进给暂停和单段停止时间，不计算时间，但要计算换刀和交换工作台的时间。

（2）运行检查

1）参数设置：参数 No. 6071 中设置 03，参数 No. 6072 中设置 05。

2）变量值设置：变量#501 ~ #505 中设置 0。

3）调用宏程序的程序。

```
O0001;
T01  M06;
M03;
 ⋮
M05; 改变#501
T02  M06;
M03;
 ⋮
M05; 改变#502
T03  M06;
M03;
 ⋮
M05; 改变#503
T04  M06;
M03;
 ⋮
M05; 改变#504
T05  M06;
M03;
 ⋮
M05; 改变#505
M30;
```

4）宏程序（被调用的程序）。

```
O9001(M03)；启动计算的宏程序
    M01；
    IF [#4120 EQ 0]  GOTO9；没有指定刀具
    IF [#4120 GT 5]  GOTO9；超出刀号范围
    #3002 =0；计时器清 0
N9  M03；正向旋转主轴
    M99；
O9002(M05)；结束计算的宏程序
    M01；
    IF [#4120 EQ 0]  GOTO9；没有指定刀具
    IF [#4120 GT 5]  GOTO9；超出刀号范围
    #[500 + #4120] = #3002 + #[500 + #4120]；计算累积时间
N9  M05；停止主轴
    M99；
```

1.3.7 用户宏程序的结构及用户宏功能

用户宏程序有两种程序形式，一种是程序中带有宏变量的主程序，另一种是带有宏变量的子程序。不管是带有宏变量的主程序还是子程序，在 FANUC 0i 数控系统中，所有的数控宏程序都是由宏程序名（号）、宏程序主体和宏程序结束、返回主程序指令组成。宏程序结束指令随数控系统不同而不同，FANUC 系统用 M99 结束宏程序、返回主程序或上一层子（宏）程序，同时将本宏程序内所用的局部变量清零。

变量、演算式和转向语句的使用是用户宏功能的核心，它们既可以用在宏程序中，也可以用在主程序中。所以从广义上说，程序使用变量的功能就可以称为用户宏功能，有没有宏程序都是如此。下面举用户宏功能的一个应用实例。

编程举例：加工图 1-1 所示零件，铣削圆台与斜方台，各自加工三个循环，要求倾斜 10° 的斜方台与圆台相切，圆台在方台之上。试用变量、演算式和转向语句来编写程序。

```
O××××；程序名
N005  #10 =10.0    ；圆台阶高度
      #11 =10.0    ；方台阶高度
      #12 =124.0   ；圆外定点的 X 坐标值
      #13 =124.0   ；圆外定点的 Y 坐标值
      #101 =12.0   ；刀具半径（偏大，粗加工）
      #102 =6.5    ；刀具半径（偏中，半精加工）
      #103 =6.0    ；刀具半径（实际，精加工）
N010  T01  M06；调用 1 号刀具
N015  G17  G90  G54  G40  G49  G80；工艺加工初始状态设置
N020  G43  G00  Z50.0  H01  S650  M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为
                                         650r/min
N025  X0  Y0  M07；刀具快速移动到工件坐标零点，打开切削液
```

```
N030  #1 =0；计数器置初始值
N035  G00  X[ -#12]  Y[ -#13]；刀具快速插补至圆外定点 A 上，坐标为
                                      ( -124.0, -124.0)
N040  Z[ -#10]；刀具快速下降至工件表面下方 10mm 处，准备加工圆台
N045  WHILE [#1 GE 3]  DO 1；如果#1 大于或等于 3，跳转到 N085 程序段（加工
                                      圆台循环）
N050  G42  G01  X[ -#12/2]  Y[ -90/2]  F150.0  D[#1 +101]
                                      ；右补偿，直线插补到圆台切线 B 点上
N055  X0  Y[ -90/2]；直线插补到圆台直径切点 C 点上
N060  G03  J[90/2]；逆时针整圆插补
N065  G01  X[#12/2]  Y[ -90/2]；沿圆台直径切点切线切出到 B′点
N070  G40  X[#12]  Y[ -#13]；取消刀具半径补偿，直线插补到 A′点
N075  G00  X[ -#12]  Y[ -#13]；刀具快速返回到程序起点 A 点
N080  #1 =#1 +1；计数器加 1，返回 N045 程序段
N085  END 1；循环结束
N090  Z[ -#10 -#11]；刀具快速下降至斜方台最终加工深度
N095  #2 =45 * SQRT[2] * COS[55]；斜方台左下角 P1 点横坐标计算
      #3 =45 * SQRT[2] * SIN[55]；斜方台左下角 P1 点纵坐标计算
      #4 =90 * COS[10]；斜方台右下角 P2 点离开左下角 P1 点横向相对值计算
      #5 =90 * SIN [10]；斜方台右下角 P2 点离开左下角 P1 点纵向相对值计算
      #1 =0；计数器置初始值
N100  WHILE [#1 GE 3]  DO 2；如果#1 大于或等于 3，跳转到 N145 程序段（加工
                                      斜方台）
N105  G90  G42  G01  X[ -#2]  Y[ -#3]  F150.0  D[#1 +101]
                                      ；右补偿，直线插补到斜方台左下角 P1 点
N110  G91  X[#4]  Y[#5]；运用相对坐标指令，直线插补到斜方台右下角 P2 点
N115  X[ -#5]  Y[#4]；直线插补到斜方台右上角 P3 点
N120  X[ -#4]  Y[ -#5]；直线插补到斜方台左上角 P4 点
N125  X[#5]  Y[ -#4]；直线插补到斜方台左下角 P1 点
N130  G90  G40  G00  X[ -#12]  Y[ -#13]
          ；运用绝对坐标指令，取消刀具半径补偿，刀具快速运行到程序起点 A 点
N135  #1 =#1 +1；计数器加 1，返回 N100 程序段
N140  END 2；循环结束
N145  G00  Z100.0  M09；刀具退到工件上表面 100mm 处，切削液关闭
N150  G49；取消刀具长度补偿
N155  G00  X0  Y0  M05；刀具退回工件坐标零点，主轴停止
N160  M30；程序结束并返回程序开头
```

第 2 章　数控车床的宏程序编程

2.1　数控车床宏程序编程特征

早期数控的加工程序只有主程序一种，后来又可以使用子程序和子程序多层嵌套。常规的主程序和子程序具有以下特征：所有的指令字都是由一个地址符和随后的具体数字组成，数字允许带小数点，数字与地址间允许加入正、负号；在程序运行过程中，数控系统除了作插补运算外，不能做其他数字运算。而用户宏程序功能很好地解决了上述问题，它将变量和演算式引入加工程序，并允许在加工程序中使用逻辑判断语句；这样，对于不同零件、不同部分，且具有相似形状的零件，通过用变量来编程，增加了程序的通用性和灵活性。因此，宏程序的最大编程特征主要有以下三个方面：

1）可以在宏程序主体中使用变量。

2）可以进行变量之间的演算。

3）可以用宏程序指令对变量进行赋值。

2.1.1　在宏程序主体中使用变量

在常规的主程序和子程序中，总是将一个具体的数值赋给一个地址。为了使程序更具通用性，更加灵活，在用户宏程序中用变量可以指令宏程序本体中的地址值，变量值可以由主程序赋值或通过 CRT/MDI 设定，或在执行用户宏程序本体时，赋给计算出的值。用户宏程序中可以使用多个变量，这些变量可以用变量号来区别。

1. 变量形式

变量是用一个符号和变量序号组成，不同数控系统的变量符号是不同的。HNC—21/22T 华中世纪星数控系统和 FANUC 0i 数控系统的变量符号均用“#”表示，如：#i(i=1，2，3，…)。SINUMERIK 802D 数控系统的变量用参数“R”表示，如：R i(i=1，2，3，…)。

另外，变量还可以用表达式来表示，如：#[#1+2*#2]、R[R3/R4—R5]。

2. 变量的引用

将跟随在地址符后的数值用变量来代替的过程称为引用变量。同样，引用变量也可以采用表达式。

例如：G01　X［#24+#4+#7］　Y#25　F［3*#9］;

　　　G02　X=R1+R2　Y=R3-R4　CR=R5　F=2*R6;

当#24=30.0、#4=20.0、#7=10.0、#25=35.0、#9=250.0 时，上例程序段表示为 G01　X60.0　Y35.0　F750.0。

当 R1=15.0、R=20.0、R3=40.0、R4=5.0、R5=15.0、R6=150.0 时，上例程序段表示为 G02　X35.0　Y35.0　CR=15.0　F300.0。

3. 变量的类型

变量分为局部变量（或称为自变量、参数）、公共变量（或称为全局变量）和系统变量。在 HNC—21/22T、FANUC 0i、SINUMERIK 802D 这三种数控系统中的变量其种类和功能都不同，见表 2-1。

表 2-1　变量的种类及功能

变量号			变量种类	功　能
HNC—21/22M	SINUMERIK 802D	FANUC 0i		
		#0	通常为空	该变量总为“空”，没有值能赋给该变量（仅 FANUC 系统有）
#0 ~ #49 #200 ~ #599 ⋮	R0 ~ R99 R100 ~ R249	#1 ~ #33	局部变量	各宏程序可独自使用，保存计算结果。关电源时进行初始化，变量值为空。调用宏程序时，代入变量值
#50 ~ #199	R100 ~ R249 （加工循环传递参数）	#100 ~ #149 #500 ~ #531	公共变量（全局变量）	在不同的宏程序之间可以公共使用的变量。当关电源时，#100 ~ #149 变量初始化为空变量，#500 ~ #531 变量仍保存原有数据
#600 ~	R250 ~ R299	#1000 ~	系统变量	进行读取、写入当前位置、刀具补偿量等 NC 各种数据的变量

2.1.2　变量之间的演算

宏程序的运算指令类似于数学运算，包括算术运算指令、逻辑运算指令、函数运算指令、控制转移指令等。

1. 宏程序运算指令

常见的运算指令见表 2-2。

宏程序计算说明：

1）在 FANUC 0i 数控系统和 SINUMERIK 802D 数控系统中，角度以度（°）为单位；如：90°30′表示成 90.5°；而在 HNC—21/22T 华中世纪星数控系统中，角度以弧度（rad）为单位，因此在进行三角函数运算时，应将角度转换为弧度（rad），如计算正弦 30°的值，应书写成 SIN[30 * PI/180](PI = π)。

2）宏程序数学运算的优先次序为：函数运算（SIN、COS、ATAN 等），乘和除类运算（*、/、AND 等），加、减类运算（+、-、OR、XOR 等）。

3）函数中的括号。括号用于改变运算次序，当要变更运算的优先顺序时使用括号。函数中的括号允许嵌套使用，但括号最多只允许嵌套 5 级，超过 5 级时则出现报警。

例：#1 = cos[[[#2 + #3] * #4 + #5]/#6]；

表 2-2　运 算 指 令

功　能	格　式		注释与具体示例
	变量符号(#)	参数符号(R)	
定义、转换	#i = #j	Ri = Rj	#1 = #2,R1 = R2
加法 减法 乘法 除法	#i = #j + #k #i = #j - #k #i = #j * #k #i = #j/#k	Ri = Rj + Rk Ri = Rj - Rk Ri = Rj * Rk Ri = Rj/Rk	#1 = #2 + #3 R1 = R2 - R3 #1 = #2 * #3 R1 = R2/R3

（续）

功能	格式		注释与具体示例
	变量符号(#)	参数符号(R)	
正弦 反正弦 余弦 反余弦 正切 反正切	#i = SIN[#j] #i = ASIN[#j] #i = COS[#j] #i = ACOS[#j] #i = TAN[#j] #i = ATAN[#j]/[#k]	Ri = SIN(Rj) Ri = ASIN(Rj) Ri = COS(Rj) Ri = ASCOS(Rj) Ri = TAN(Rj) Ri = ATAN2(Rj)	R1 = SIN[R2] R1 = ASIN[R2] #1 = COS[#2] #1 = ASCOS[#2] R1 = TAN[R2] R1 = ATAN2[R2]
平方根 平方值 绝对值 舍入 上取整 下取整 取整(华中系统)	#i = SQRT[#j] #i = ABS[#j] #i = ROUND[#j] #i = FIX[#j] #i = FUP[#j] #i = INT(#j)	Ri = SQRT(Rj) Ri = POT(Rj) Ri = ABS(Rj) Ri = ROUND(Rj) Ri = TRUNC(Rj)	#1 = SQRT[#5] R1 = POT[R2] #1 = ABS[#2] R1 = ROUND(R2) #1 = FIX[#2] #1 = INT(#2)
自然对数 指数函数	#i = LN[#j] #i = EXP[#j]	 Ri = EXP[Rj]	#1 = LN[#2] #1 = EXP[#2]
或(OR) 异或(XOR) 与(AND) 非(NOT)	#i = #jOR#k #i = #jXOR#k #i = #jAND#k #i = BIN[#j]	Ri = Rj OR Rk Ri = RjXORRk Ri = Rj AND Rk Ri = Rj NOT Rk	逻辑运算一位一位地按二进制数执行
从 BCD 码转换成 BIN 码 将 BIN 码转换成 BCD 码	#i = BCD[#j]	Ri = BIN[Rj] Ri = BCD[Rj]	用于与 PMC 间信号的交换

2. 宏程序控制转移语句

在程序中使用 GOTO、IF 语句（条件转移，如果…）来控制程序流向。

（1）HNC—21/22M 华中世纪星数控系统　条件判别语句　IF　ELSE　ENDIF

格式（i）：IF 条件表达式
　　　　　…条件成立
　　　　　ELSE
　　　　　…条件不成立
　　　　　ENDIF

格式（ii）：IF 条件表达式
　　　　　…条件成立
　　　　　ENDIF

（2）SINUMERIK 802D 数控系统

1）绝对跳转。

指令格式：GOTOF　Label（标记符）　　；向前跳转
　　　　　GOTOB　Label（标记符）　　；向后跳转

指令	说　明
GOTOF	向前跳转（向程序结束的方向跳转）
GOTOB	向后跳转（向程序开始的方向跳转）
Label	所选的标记符

2）有条件跳转。

指令格式：　IF 条件 GOTOF　Label　　；向前跳转

　　　　　　IF 条件 GOTOB　Label　　；向后跳转

指令	说　明
GOTOF	向前跳转（向程序结束的方向跳转）
GOTOB	向后跳转（向程序开始的方向跳转）
Label	所选的标记符
IF	跳转条件导入符
条件	作为条件的计算参数，计算表达式

（3）FANUC 0i 数控系统

1）无条件转移（GOTO 语句）：无条件转移到顺序号为 n 的程序段。

指令格式：GOTO n；

其中：n 为顺序号，可取 1 ~99999；顺序号也可用表达式表示。

例：GOTO 1；

　　GOTO #10；

2）条件转移（IF 语句）：IF 后面是条件式，如果条件成立，则转移到顺序号为 n 的程序段语句；否则，执行下一个程序段。

例如：如果#1 值比 10 大，则转移到顺序号 N60 的程序段。

指令格式：IF　［#1GT 10］ GOTO 60；

条件不成立→按程序顺序执行；条件成立→执行 N60 程序段。

说明：

a）条件式是在比较的两个变量之间，或一个常量与一个变量之间，写上比较运算符，然后再用方括号［］全部括起来而构成的。不用变量，也可用运算式。

b）运算符由两个英文字母构成，用来判断大、小或相等，见表 2-3。

表 2-3　条件表达式种类及含义、具体示例

条件表达式		含　义	具体示例
HNC—21/22M、FANUC 0i	SINUMERIK 802D		
EQ	= =	等于	IF［#11EQ#20］GOTO 65
NE	< >	不等于	IF［#11NE#20］GOTO 90
GT	>	大于	IF R11 > R20 GOTOB MARKE1
GE	> =	大于或等于	IF #11GE#20
LT	<	小于	IF R11 < R20 GOTOF MARKE2
LE	<=	小于或等于	IF #11LE#20

3. 循环语句

（1）HNC—21/22M 华中世纪星数控系统 循环语句 WHILE ENDW

指令格式：WHILE 条件表达式
⋮条件成立
ENDW

（2）FANUC 0i 数控系统 在 WHILE 语句后指定一个条件表达式。

指令格式：WHILE[条件式]DO m(m=1,2,3)
⋮条件不成立
END m;
⋮

说明：

1）在 HNC—21/22M 华中世纪星数控系统中，当在条件成立期间，执行 WHILE 之后到 ENDW 间的程序；当条件不成立时，执行 ENDW 的下一个程序段。条件表达式和运算符与 IF 语句的相同。

在 FANUC 0i 数控系统中，当在条件不成立期间，执行 WHILE 之后的 DO 到 ENDm 间的程序；当条件成立时，执行 ENDm 的下一个程序段。条件表达式和运算符与 IF 语句的相同。DO 和 END 后的 m 数值是指定执行范围的识别符，可使用 1、2、3；非 1、2、3 时报警。

2）嵌套。在 FANUC 0i 数控系统中，在 DO～END 之间的循环识别号（1～3）可使用任意次；不管是 HNC—21/22M 华中世纪星数控系统，还是 FANUC 0i 数控系统，都不能执行交叉循环，否则报警。见表 1-23 循环嵌套表。

注意：在 FANUC 0i 数控系统中，如果省略 WHILE 语句，只指令了 DO m，则从 DO 到 END 之间形成无限循环。

2.1.3 用宏程序命令对变量进行赋值

变量的赋值方法有两种，即直接赋值和引数赋值，其中直接赋值的方法比较直观、方便。

例如：#17=5.0 #25=35.0；R21=18.0，R8=-9.0。

变量的引数赋值具体见第 3 章 3.1.3 节。

2.2 数控车床宏程序编程技巧

用户宏程序功能是数控加工技术的重要发展，将变量、演算式和参数方程引入加工程序，并允许在加工程序中使用逻辑判断语句。用了变量和演算式的子程序称为用户宏程序（本体），在主程序或上一层用户宏程序中呼出用户宏程序的语句（程序段）叫做宏程序语句。

2.2.1 用宏程序和 R 参数编程实现规格不同的轴加工

编程示例：如图 2-1 所示轴。试编写其数控车的通用加工程序。

解：

1. 零件图的工艺分析

加工图 2-1 所示的同族相似轴时，由于轴各级外圆的加工余量不同，有的外圆余量比较大，有的外圆余量比较小，因此需根据实际情况分级分层粗车去余量，最后再统一进行精车削加工。

2. 参考程序

（1）HNC—21/22T 华中世纪星数控系统对实现规格不同的轴加工的用户宏程序

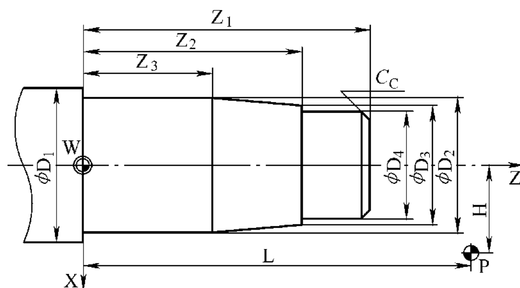


图 2-1　同族相似轴编程示例图

局部变量含义：

#0 = A	; A—直径 D_1（毛坯外径）
#1 = B	; B—直径 D_2（直径表示）
#2 = C	; C—直径 D_3（直径表示）
#3 = D	; D—直径 D_4（直径表示）
#4 = E	; E—倒角边长（C）
#5 = F	; F—刀具起刀点纵向工件坐标值 L
#7 = H	; H—刀具起刀点横向工件坐标值
#8 = I	; I—长度 Z_1
#9 = J	; J—长度 Z_2
#10 = K	; K—长度 Z_3
#17 = R	; R—背吃刀量（半径表示）
#18 = S	; S—精加工余量（直径表示）
#19 = T	; T—粗加工转速（r/min）
#20 = U	; U—精加工转速（r/min）
#21 = V	; V—粗加工进给量（mm/r）
#22 = W	; W—精加工进给量（mm/r）

主程序如下：

O××××；文件名

%××××；程序号

N10 G18 G99 G97 G21 G90 G54 G40；工艺加工状态设置
N20 M98 P221 A__ B__ C__ D__ E__ F__ H__ I__ J__ K__ R__ S__ T__ U__ V__ W__
；调用实现规格不同的轴加工的用户宏程序
⋮
N50 M05 ；主轴停止
N60 M30 ；程序结束并返回程序开头

宏程序如下：

%221；宏程序号
N005 #30 = INT[[#0 - #1 - #18]/2/#17]
；根据背吃刀量和精加工余量计算第一级粗车循环次数(取整)
N010 #31 = [#0 - #1 - #18]/#30；计算第一级径向粗加工每次背吃刀量(直径值)
N015 #40 = INT[[#1 - #2 - #18]/2/#17]
；根据背吃刀量和精加工余量计算第二级粗车循环次数(取整)
N020 #41 = [#1 - #2 - #18]/#40；计算第二级径向粗加工每次背吃刀量(直径值)
N025 #50 = INT[[#2 - #3 - #18]/2/#17]
；根据背吃刀量和精加工余量计算第三级粗车循环次数(取整)
N030 #51 = [#2 - #3 - #18]/#50；计算第三级径向粗加工每次背吃刀量(直径值)
N035 T0101；调用1号刀具(外圆粗加工车刀)
N040 G90 G00 X[2 * #7] Z[#5] S[#19] M03；主轴正转,转速为 S = #19r/min
N045 #28 = 1；切削次数初始值赋值
N050 WHILE #28LE#30 ；当#28 > #30 时,则跳转到 N085 程序段
N055 G01 X[#0] Z[#8 + 5] F[3 * #21]；直线插补到工件右端附近,车削 ϕD2 外圆
N060 G91 X[- #31] F[#21]；径向切入一个背吃刀量
N065 Z[- #8 - 5 + #18/2]；粗车 ϕD2 外圆
N070 G90 X[#0 + 5]；粗车 ϕD2 外圆的左端面
N072 G00 G00 Z[#5]；返回起刀点
N075 #28 = #28 + 1；切削次数累加 1
N080 #31 = #31 * #28；背吃刀量递增
N085 ENDW；返回循环体 1
N090 #28 = 1；计算器置 1
N095 WHILE #28LE#40 ；当#28 > #40 时,则跳转到 N140 程序段
N100 G90 G01 X[#0] Z[#8 + 5] F[3 * #21]；直线插补到工件右端附近,粗车锥圆
N105 X[#1] F[#21]；径向直线插补到 ϕD2 外圆
N110 G91 X[- #41]；径向切入一个背吃刀量
N115 Z[- [#8 + 5 - #9 + #18/2]]；粗车 ϕD4 外圆
N120 X[[#2 - #3]/2]；粗车锥圆右端面

```
N125　X[[#1 - #2]/2]　Z[ - [#9 - #10]]；粗车锥圆
N128　G90　G00　Z[#5]；返回起刀点
N130　#28 = #28 + 1；切削次数累加 1
N135　#41 = #41 * #28；背吃刀量递增
N140　ENDW；返回循环体 2
N145　#28 = 1；计算器置 1
N150　WHILE #28LE#50 ；当#28 > #50 时,则跳转到 N190 程序段
N155　G90　G01　X[#0]　Z[#8 + 5]　F[3 * #21]；直线插补到工件右端附近,车削
                                                  φD4 外圆
N160　X[#2]　F[#21]；径向直线插补到 φD3 外圆
N165　G91　X[ - #51]；径向切入一个背吃刀量
N170　Z[ - [#8 + 5 - #9 + #18/2]]；粗车 φD4 外圆
N175　X[#0]；粗车 φD4 外圆左端面
N178　G90　G00　Z[#5]；返回起刀点
N180　#28 = #28 + 1；切削次数累加 1
N185　#51 = #51 * #28；背吃刀量递增
N190　ENDW；返回循环体 3
N195　G00　X[2 * #7]　Z[#5]；刀具快速移动到换刀点
N200　T0202；调用 2 号刀具(外圆精加工车刀)
N205　G97　M03　S[#20]；设置精加工工艺参数
N210　G41　G00　X[#3]　Z[#8 + 5]　F[5 * #22]；建立刀具左刀补,直线插补到工件
                                                  右端附近
N215　X[#3 - #4 - 1.0]　Z[#8 + 1.0]　F[#22]；直线插补到倒角 C 的延长线上
N220　X[#3]　Z[#8 - #4]；倒角
N225　Z[#9]；精车 φD4 外圆
N230　X[#2]；精车 φD4 外圆左端面
N235　X[#1]　Z[#10]；精车锥圆
N240　Z0；精车 φD2 外圆
N245　X[#0 + 5]；精车 φD2 外圆左端面,X 向退出工件
N250　G40　G00　X[2 * #7]　Z[#5]；取消刀补,退回换刀点
N255　M99；子程序结束,返回主程序
```

(2) SINUMERIK 802D 数控系统对实现规格不同的轴加工的用户 R 参数程序

R 参数含义：

```
R1 = A　　；A—直径 D1(毛坯外径)
R2 = B　　；B—直径 D2(直径表示)
R3 = C　　；C—直径 D3(直径表示)
R4 = I　　；I—直径 D4(直径表示)
R5 = J　　；J—长度 Z1
R6 = K　　；K—长度 Z2
```

R7 = D　　; D—长度 Z_3
R8 = E　　; E—倒角边长(C)
R9 = F　　; F—刀具起刀点纵向工件坐标值 L
R11 = H　　; H—刀具起刀点横向工件坐标值
R18 = R　　; R—背吃刀量(半径表示)
R19 = S　　; S—精加工余量(直径表示)
R20 = T　　; T—粗加工转速(r/min)
R21 = U　　; U—精加工转速(r/min)
R22 = V　　; V—粗加工进给量(mm/r)
R23 = W　　; W—精加工进给量(mm/r)

主程序如下:

××××××××; 主程序名
N10　G18　G99　G97　G71　G95　G90　G54　G40; 工艺加工状态设置
N20　R1 = A　R2 = B　R3 = C　R7 = D　R8 = E　R9 = F　R11 = H　R4 = I　R5 = J R6 = K　R18 = R　R19 = S　R20 = T　R21 = U　R22 = V　R23 = W; 参数设置
N20　L221; 调用实现规格不同的轴加工的用户 R 参数程序
⋮
N50　M05　; 主轴停止
N60　M02　; 程序结束并返回程序开头

R 参数程序如下:

L221; R 参数程序名
N010　R30 = TRUNC[[R1 - R2 - R19]/2/R18]; 根据背吃刀量和精加工余量计算第一级粗车循环次数(取整)
N015　R31 = [R1 - R2 - R19]/R30; 计算第一级径向粗加工每次背吃刀量(直径值)
N020　R40 = TRUNC [[R2 - R3 - R19]/2/R18]; 根据背吃刀量和精加工余量计算第二级粗车循环次数(取整)
N025　R41 = [R2 - R3 - R19]/R40; 计算第二级径向粗加工每次背吃刀量(直径值)
N030　R50 = TRUNC [[R3 - R4 - R19]/2/R18]; 根据背吃刀量和精加工余量计算第三级粗车循环次数(取整)
N035　R51 = [R3 - R4 - R19]/R50; 计算第三级径向粗加工每次背吃刀量(直径值)
N040　T01　D01; 调用 1 号刀具(外圆粗加工车刀)
N045　G18　G97　G95　G54　G40; 工艺加工状态设置
N050　G90　G00　X = 2 * R11　Z = R9　S = R20　M03; 主轴正转,转速为 R20r/min
N055　R28 = 1; 切削次数初始值赋值
N060　MARKE1:G01　X = R1　Z = R5 + 5　F = 3 * R22; 直线插补到工件右端附近
N065　G91　X = - R31　F = R22; 径向切入一个背吃刀量
N070　Z = - R5 - 5 + R19/2; 粗车 ϕD2 外圆
N075　G90　X = R1 + 5; 粗车 ϕD2 外圆的左端面
N078　G00　Z = R9; 返回起刀点

```
N080  R28 = R28 + 1；切削次数累加 1
N085  R31 = R31 * R28；背吃刀量递增
N090  IF R28 <= R30 GOTOB MARKE1；当 R28 小于或等于 R30 时,则跳转到标志符
          MARKE1
N095  R28 = 1；计算器置 1
N100  MARKE2:G90  G01  X = R1  Z = R5 + 5  F = 3 * R22;直线插补到工件右端附近
N105  X = R2  F = R22；径向直线插补到 ϕD2 外圆
N110  G91  X = - R41；径向切入一个背吃刀量
N115  Z = - [R5 + 5 - R6 + R19/2]；粗车 ϕD4 外圆
N120  X = [R3 - R4]/2；粗车锥圆右端面
N125  X = [R2 - R3]/2  Z = - [R6 - R7]；粗车锥圆
N128  G90  G00  Z = R9;返回起刀点
N130  R28 = R28 + 1；切削次数累加 1
N135  R41 = R41 * R28；背吃刀量递增
N140  IF R28 <= R40 GOTOB MARKE2；当 R28 小于或等于 R40 时,则跳转到标志符
          MARKE2
N145  R28 = 1；计算器置 1
N150  MARKE3:G90  G01  X = R1  Z = R5 + 5  F = 3 * R22；直线插补到工件右端附近
N155  X = R3  F = R22；径向直线插补到 ϕD3 外圆
N160  G91  X = - R51；径向切入一个背吃刀量
N165  Z = - [R5 + 5 - R6 + R19/2]；粗车 ϕD4 外圆
N170  G90  X = R1；粗车 ϕD4 外圆左端面
N172  G00  Z = R9;返回起刀点
N175  R28 = R28 + 1；切削次数累加 1
N180  R51 = R51 * R28；背吃刀量递增
N185  IF R28 <= R50 GOTOB MARKE 3；当 R28 小于或等于 R50 时,则跳转到标志符
          MARKE3
N190  G00  X = 2 * R11  Z = R9；刀具快速移动到换刀点
N195  T02  D02；调用 2 号刀具(外圆精加工车刀)
N200  G97  M03  S = R21；设置精加工工艺参数
N205  G41  G00  X = R4  Z = R5 + 5  F = 5 * R23；建立刀具左刀补,直线插补到工件
          右端附近
N210  X = R4 - R9 - 1.0  Z = R5 + 1.0  F = R23；直线插补到倒角 C 的延长线上
N215  X = R4  Z = R5 - R9；倒角
N220  Z = R6；精车 ϕD4 外圆
N225  X = R3；精车 ϕD4 外圆左端面
N230  X = R2  Z = R7；精车锥圆
N235  Z0；精车 ϕD2 外圆
N240  X = R1 + 5；精车 ϕD2 外圆左端面,X 向退出工件
```

N245 G40 G00 X = 2 * R11 Z = R9; 取消刀补,退回换刀点

N250 RET; 子程序结束,返回主程序

(3) FANUC 0i 数控系统对实现规格不同的轴加工的用户宏程序

自变量含义:

#1 = A ; A—直径 D_1(毛坯外径)

#2 = B ; B—直径 D_2(直径表示)

#3 = C ; C—直径 D_3(直径表示)

#4 = I ; I—直径 D_4(直径表示)

#5 = J ; J—长度 Z_1

#6 = K ; K—长度 Z_2

#7 = D ; D—长度 Z_3

#4 = E ; E—倒角边长(C)

#9 = F ; F—刀具起刀点纵向工件坐标值 L

#11 = H ; H—刀具起刀点横向工件坐标值

#18 = R ; R—背吃刀量(半径表示)

#19 = S ; S—精加工余量(直径表示)

#20 = T ; T—粗加工转速(r/min)

#21 = U ; U—精加工转速(r/min)

#22 = V ; V—粗加工进给量(mm/r)

#23 = W ; W—精加工进给量(mm/r)

主程序如下:

O××××; 主程序名

N10 G18 G99 G97 G21 G95 G90 G54 G40; 工艺加工状态设置

N20 G65 P221 A__ B__ C__ D__ E__ F__ H__ I__ J__ K__ R__ S__ T__ U__ V__ W__; 调用实现规格不同的轴加工的用户宏程序

⋮

N50 M05; 主轴停止

N60 M30 ; 程序结束并返回程序开头

宏程序如下:

O221; 宏程序名

N010 #30 = FUP[[#1 - #2 - #19]/2/#18]; 根据背吃刀量和精加工余量计算第一级粗车循环次数(上取整)

N015 #31 = [#1 - #2 - #19]/#30; 计算第一级径向粗加工每次背吃刀量(直径值)

N020 #40 = FUP[[#2 - #3 - #19]/2/#18]; 根据背吃刀量和精加工余量计算第二级粗车循环次数(上取整)

N025 #41 = [#2 - #3 - #19]/#40; 计算第二级径向粗加工每次背吃刀量(直径值)

N030 #50 = FUP[[#3 - #4 - #19]/2/#18]; 根据背吃刀量和精加工余量计算第三级粗车循环次数(上取整)

N035 #51 = [#3 - #4 - #19]/#50; 计算第三级径向粗加工每次背吃刀量(直径值)

```
N040  T0101；调用 1 号刀具(外圆粗加工车刀)
N050  G90  G00  X[2*#11]  Z#9  S#20  M03；主轴正转,转速为 20r/min
N055  #28=1；切削次数初始值赋值
N060  WHILE[#28GT#30]DO1；当#28 大于#30 时,则跳转到 N095 程序段
N065  G01  X#1  Z[#5+5]  F[3*#22]；直线插补到工件右端附近
N070  U-#31  F#22；径向切入一个背吃刀量
N075  W[-#5-5+#19/2]；粗车 φD2 外圆
N080  X[#1+5]；粗车 φD2 外圆的左端面
N082  G00  Z#9;返回起刀点
N085  #28=#28+1；切削次数累加 1
N090  #31=#31*#28；背吃刀量递增
N095  END1；返回循环体 2
N100  #28=1；计算器置 1
N105  WHILE [#28GT#40] DO2；当#28 大于#40 时,则跳转到 N150 程序段
N110  G01  X#1  Z[#5+5]  F[3*#22]；直线插补到工件右端附近
N115  X#2 F#22；径向直线插补到 φD2 外圆
N120  U-#41；径向切入一个背吃刀量
N125  W-[#5+5-#6+#19/2]；粗车削 φD4 外圆
N130  U[[#3-#4]/2]；粗车锥圆右端面
N135  U[[#2-#3]/2]  W-[#6-#7]；粗车锥圆
N138  G00  Z#9;返回起始点
N140  #28=#28+1；切削次数累加 1
N145  #41=#41*#28；背吃刀量递增
N150  END2；返回循环体 2
N155  #28=1；计数器置 1
N160  WHILE [#28GT#50] DO3；当#28 大于#50 时,则跳转到 N200 程序段
N165  G01  X#1  Z[#5+5]  F[3*#22]；直线插补到工件右端附近
N170  X#3 F#22；径向直线插补到 φD3 外圆
N175  U-#51；径向切入一个背吃刀量
N180  W-[#5+5-#6+#19/2]；粗车 φD4 外圆
N185  X#1；粗车 φD4 外圆左端面
N188  G00  Z#9;返回起刀点
N190  #28=#28+1；切削次数累加 1
N195  #51=#51*#28；背吃刀量递增
N200  END3；返回循环体 3
N205  G00  X[2*#11] Z#9；刀具快速移动到换刀点
N210  T0202；调用 2 号刀具(外圆精加工车刀)
N215  G97  M03  S#21；设置精加工工艺参数
N220  G41  G00  X#4  Z[#5+5]  F[5*#23]  D02;建立刀具左刀补,直线插补到工
```

件右端附近

N225 X[#4 - #9 - 1.0] Z[#5 + 1.0] F#23；直线插补到倒角 C 的延长线上

N230 X#4 Z[#5 - #9]；倒角

N235 Z#6；精车 ϕD4 外圆

N240 X#3；精车 ϕD4 外圆左端面

N245 X#2 Z#7；精车锥圆

N250 Z0；精车 ϕD2 外圆

N255 X[#1 + 5]；精车 ϕD2 外圆左端面,X 向退出工件

N260 G40 G00 X[2 * #11] Z#9；取消刀补,退回换刀点

N265 M99；子程序结束,返回主程序

2.2.2 用宏程序和 R 参数编程实现螺纹的粗、精加工

编程示例：对图 2-2 所示的圆柱螺纹编程。螺纹螺距为 C，螺纹升速段长为 I，螺纹减速段长为 J，螺纹最终精加工切削余量为 D，每次背吃刀量（直径值）分别为（n - 1）D、（n - 2）D、…、3D、2D、D。

解：

1. 零件图的工艺分析

螺纹轴加工时先粗、精车螺纹大径，螺纹大径一般应车的比基本尺寸小 0.2 ~ 0.4mm（约 0.13C，C 为螺纹螺距）；保证车好螺纹后牙顶处有 0.125C 的宽度；再车削退刀槽；最后分层粗、精车螺纹。采用直进法车削螺纹，升速进刀段为 I，降速退刀段为 J，最后螺纹精加工余量 D，根据精加工余量确定每次背吃刀量（直径值）分别为（n - 1）D、（n - 2）D、…、3D、2D、D，车削次数等于螺纹背吃刀量（= 0.65C）除以螺纹精加工余量 D 后求整。

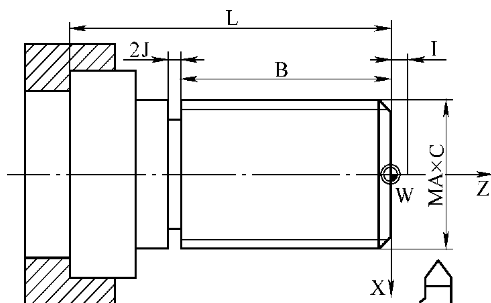


图 2-2 螺纹轴编程示例图

2. 参考程序

（1）HNC—21/22T 华中世纪星数控系统对实现螺纹的粗、精加工的用户宏程序

局部变量含义：

#1 = A ；A—螺纹大径

#2 = B ；B—螺纹长度

#3 = C ；C—螺纹螺距

#4 = I ；I—螺纹升速段长

#5 = J ；J—螺纹减速段长

#6 = K ；K—螺纹背吃刀量（K = 0.65 * #3）半径值

#7 = D ；D—螺纹最终精加工背吃刀量

主程序如下：

O××××；文件名

```
%××××；程序号
N10　G18　G99　G97　G21　G90　G95　G54　G40；工艺加工状态设置
⋮
N40　T0404；调换螺纹车刀
N45　M03　S800；换切螺纹车削转速
N50　M98　P222 A__　B__　C__　D__　I__　J__　K__；调用实现螺纹粗、精加
                                                    工的用户宏程序
⋮
N75　M05　；主轴停止
N80　M30　；程序结束并返回程序开头
```

宏程序如下：

```
%222；程序号
N10　#30=INT[#6/#7]；切削次数（取整）
     #31=#6/#30；背吃刀量递减均值
     #32=#1；将螺纹外径（#1）赋给变量#32
N15　WHILE #30GT1；如果#30 小于或等于 1，则程序跳转到 N45 程序段
N20　#30=#30-1；切削次数递减 1 次
     #33=#30*#31；背吃刀量计算
     #32=#32-#33；第 n 次加工螺纹的 X 坐标计算
N25　G90　G00　X[#1+5]　Z[#4]；到螺纹起点，升速段#4
N30　G00　X[#32]；背吃刀量#32
N35　G32　W[-[#2+#5]]　F[#3]；切削螺纹到螺纹切削终点，降速段#5
N40　G90　G00　X[#1+5]；X 轴方向快退
N45　ENDW；返回循环体
N50　G00　X[2*#1]　Z100.0；退离工件
N55　M99；子程序结束，返回主程序
```

（2）SINUMERIK 802D 数控系统对实现螺纹的粗、精加工的用户 R 参数程序

R 参数含义：

```
R1=A　；A—螺纹大径
R2=B　；B—螺纹长度
R3=C　；C—螺纹螺距
R4=I　；I—螺纹升速段长
R5=J　；J—螺纹减速段长
R6=K　；K—螺纹背吃刀量（K=0.65*R3）半径值
R7=D　；D—螺纹最终精加工背吃刀量
```

主程序如下：

```
××××××××；主程序名
N10　G18　G99　G97　G71　G95　G90　G54　G40；工艺加工状态设置
⋮
```

N40　T04　D04；调换螺纹车刀
N45　M03　S800；换切螺纹车削转速
N50　R1 = A　R2 = B　R3 = C　R7 = D　R4 = I　R5 = J　R6 = K；参数设置
N55　L222 ；调用实现螺纹粗、精加工的用户 R 参数程序
⋮
N75　M05　；主轴停止
N80　M02　；程序结束并返回程序开头

R 参数程序如下：

L222；R 参数程序名
N10　R30 = TRUNC [R6/R7]；切削次数（取整）
　　R31 = R6/R30；背吃刀量递减均值
　　R32 = R1；将螺纹外径（R1）赋给变量 R32
N15　MARKE1：R30 = R30 - 1；切削次数递减 1 次
N20　R33 = R30 * R31；背吃刀量计算
　　R32 = R32 - R33；第 n 次加工螺纹的 X 坐标计算
N25　G90　G00　X = R1 + 5　Z = R4；到螺纹起点，升速段 R4
N30　G00　X = R32；背吃刀量 R32
N35　G91　G33　Z = - [R2 + R5] K = R3；切削螺纹到螺纹切削终点，降速段 R5
N40　G90　G00　X = R1 + 5；X 轴方向快退
N45　IF　R30 > 1；如果 R30 大于 1，则程序跳转到 MARKE1 标志符程序段
N50　G00　X = 2 * R1　Z = 100.0；退离工件
N55　RET；子程序结束，返回主程序

（3）FANUC 0i 数控系统对实现螺纹的粗、精加工的用户宏程序

自变量含义：

#1 = A　；A—螺纹大径
#2 = B　；B—螺纹长度
#3 = C　；C—螺纹螺距
#4 = I　；I—螺纹升速段长
#5 = J　；J—螺纹减速段长
#6 = K　；K—螺纹背吃刀量（K = 0.65 * #3）半径值
#7 = D　；D—螺纹最终精加工背吃刀量

主程序如下：

O × × × ×；主程序名
N10　G18　G99　G97　G21　G95　G90　G54　G40；工艺加工状态设置
⋮
N40　T0404 ；调换螺纹车刀
N45　M03　S800；换切螺纹转速
N50　G65　P222　A __　B __　C __　D __　I __　J __　K __；调用实现螺纹粗、精加工的用户宏程序

⋮

N75　M05　；主轴停止

N80　M30　；程序结束并返回程序开头

宏程序如下：

O222；程序名

N10　#30 = FUP[#6/#7]；切削次数上取整

　　#31 = #6/#30；背吃刀量递减均值

　　#32 = #1；将螺纹外径（#1）赋给变量#32

N15　WHILE[#30LE1]DO1；如果#30 小于或等于 1，则跳转到 N50 程序段

N20　#30 = #30 - 1；切削次数递减 1 次

　　#33 = #30 * #31；背吃刀量计算

　　#32 = #32 - #33；第 n 次加工螺纹的 X 坐标计算

N25　G00　X[#1 + 5]　Z#4；到螺纹起点，升速段#4

N30　G00　X[#32]；背吃刀量#32

N35　G32　W - [#2 + #5]　F#3；切削螺纹到螺纹切削终点，降速段#5

N40　G00　X[#1 + 5]；X 轴方向快退

N45　END1；返回循环体

N50　G00　X[2 * #1]　Z100.0；退离工件

N55　M99；子程序结束，返回主程序

2.2.3　用宏程序和 R 参数编制孔加工钻削循环

编程示例：编写图 2-3 所示零件的钻孔程序。

解：

1. 零件图的工艺分析

首先将刀具沿 X 和 Z 轴移动到钻孔循环起始点，将 U 定义为孔的深度，K 为钻削深度，F 为钻孔时的切削进给速度。零件外圆右侧中心定为工件坐标 X、Z 的零点，通过分步钻入达到最后的钻孔深度，钻孔深度的最大值事先确定。

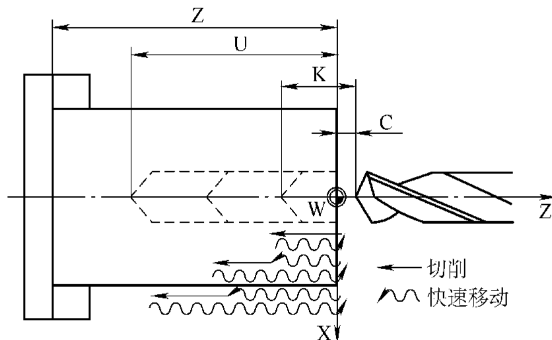


图 2-3　深孔钻削加工的钻削路线示意图

2. 参考程序

（1）HNC—21/22T 华中世纪星数控系统对深孔钻削加工的用户宏程序

局部变量含义：

#2 = C ；C—安全距离

#5 = F ；F—刀具进给速度（mm/r）

#10 = K；K—每次循环的钻削深度

#20 = U；U—孔最终钻削深度

#25 = Z；Z—零件右端面的工件 Z 向坐标值

主程序如下：

O××××；文件名

%××××；程序号

N10 G18 G99 G97 G21 G95 G90 G54 G40；工艺加工状态设置

⋮

N40 T0202；调用钻孔刀具

N45 M03 S1000；主轴正转，转速1000r/min

N50 M98 P223 C__ F__ K__ U__ Z__；调用深孔钻削加工的用户宏程序

⋮

N85 M05 ；主轴停止

N90 M30 ；程序结束并返回程序开头

宏程序如下：

%223；宏程序名

N010 #1 =1 ；计数器置初始值1

N015 #28 =INT[#20 +#2]/#10；根据钻削深度和安全距离计算循环次数（取整）

N020 #29 =[#20 +#2]/#28；计算每次钻削深度

N025 #30 =#29；将#29的值赋给中间变量#30

N030 G00 Z[#2]；刀具快速移动到工件右端面钻孔安全距离处

N040 WHILE #1LE#28 ；如果#1大于#28，程序跳转到N120程序段

N045 G01 G91 Z[-#30] F[#5]；钻孔

N050 G00 Z[#29—]；将刀具移至钻孔起始点

N055 G04 P100；暂停1s

N060 G00 Z[-#29 +1]；以快速进给速度将刀具移动到上次孔深前1mm处

N090 #1 =#1 +1 ；计数器累加1

N100 #29 =#29 * #1 ；钻削深度叠加

N110 ENDW；返回循环体

N115 G90 G00 Z [#2]；将刀具移至钻孔起始点

N120 M99；子程序结束，返回主程序

（2）SINUMERIK 802D数控系统对深孔钻削加工的用户R参数程序

R参数含义：

R3 =C ；C—安全距离

R9 =F ；F—刀具进给速度（mm/r）

R6 =K ；K—每次循环的钻削深度

R21 =U；U—孔最终钻削深度

R26 =Z；Z—零件右端面的工件Z向坐标值

主程序如下：

×××××××；主程序名

N10 G18 G95 G97 G71 G95 G90 G54 G40 ；工艺加工状态设置

⋮

N40　G90　G00　T02　D02；调用钻孔刀具
N45　M03　S1000；主轴正转，转速 1000r/min
N50　R3 = C　R9 = F　R6 = K　R21 = U　R26 = Z；参数设置
N55　L223；调用深孔钻削加工的用户 R 参数程序
⋮
N85　M05　；主轴停止
N90　M02　；程序结束并返回程序开头
R 参数程序如下：
L233；R 参数子程序名
N010　R1 = 1　；计数器置初始值 1
N015　R28 = TRUNC[R21 + R3]/R6；根据钻削深度和安全距离计算循环次数（取整）
N020　R29 = [R21 + R3]/R28；计算每次钻削深度
N025　R30 = R29；将 R29 的值赋给中间变量 R30
N030　G00　Z = R3；刀具快速移动到工件右端面钻孔安全距离处
N035　MARKE1：G01　G91　Z = －R30　F = R9；钻孔
N040　G00　Z = R29；将刀具移至钻孔起始点
N045　G04　P100；暂停 1s
N050　G00　Z = －R29 + 1；以快速进给速度将刀具移动到上次孔深前 1mm 处
N055　R1 = R1 + 1；计数器累加 1
N060　R29 = R29 * R1；钻削深度叠加
N065　IF R1 <= R28 GOTOB MARKE1；如果 R1 小于或等于 R28，则跳转到 MARKE1 标志符
N070　G90　G00　Z = R2；转换成绝对方式，将刀具移至钻孔起始点
N075　RET；R 参数子程序结束，返回主程序
（3）FANUC 0i 数控系统对深孔钻削加工的用户宏程序
自变量含义：
#3 = C　；C—安全距离
#6 = K　；K—每次循环的钻削深度
#9 = F　；F—刀具进给速度（mm/r）
#21 = U　；U—孔最终钻削深度
#26 = Z　；Z—零件右端面的工件 Z 向坐标值
主程序如下：
O××××；主程序名
N10　G18　G99　G97　G21　G95　G90　G54　G40；工艺加工状态设置
⋮
N40　T0202；调用钻孔刀具
N45　M03　S1000；主轴正转，转速 1000r/min
N50　G65　P223　C__　F__　K__　U__　Z__；调用深孔钻削加工的用户宏程序
⋮

N85　M05　；主轴停止
N90　M30　；程序结束并返回程序开头
宏程序如下：
O233；宏程序名
N010　#1 = 1　；计数器置初始值 1
N015　#28 = FUP[#21 + #3]/#6；根据钻削深度和安全距离计算循环次数（上取整）
N020　#29 = [#21 + #3]/#28；计算每次钻削深度
N025　#30 = #29；将#29 的值赋给中间变量#30
N030　G00　Z#3；刀具快速移动到工件右端面钻孔安全距离处
N040　WHILE [#1LE#28] DO1；如果#1 大于#28，则程序跳转到 N120 程序段
N045　G01　W − #30　F#9；钻孔
N050　G00　W#29；将刀具移至钻孔起始点
N055　G04　P100；暂停 1s
N060　G00　W [− #29 + 1]；以快速进给速度将刀具移动到上次孔深前 1mm 处
N090　#1 = #1 + 1 ；计数器累加 1
N100　#29 = #29 * #1 ；钻削深度叠加
N110　END1 ；返回循环体
N115　G90　G00　Z#3；刀具快速移动至工件右端面钻孔安全距离处
N120　M99 ；子程序结束，返回主程序

2.3　非圆锥曲线类零件数控车削的宏程序编程实例

2.3.1　椭圆类零件的宏程序和 R 参数编程

编制一个车削加工图 2-4 所示带有椭圆过渡的零件类通用程序，假设毛坯外径为 ϕX_1，过渡外径为 ϕX_2，椭圆短半轴为 a，长半轴为 b；使用变量（或参数）编制此类零件的宏程序。

工艺分析：车削图 2-4 所示一段椭圆的回转零件时，一般采用直线逼近（也叫拟合）法，即在 Z 向分段，以 0.2 ~ 0.5mm 为一个步距，并把 Z 作为自变量，X 作为 Z 的函数。为了适应不同的椭圆（即不同的长短轴）、不同的起始点和不同的步距，我们可以编制一个只用变量不用具体数据的宏程序，然后在主程序中呼出该宏程序的用户宏指令段为上述变量赋值。这样，对于不同的椭圆、不同的起始点和不同的步距，不必更改程序，而只要修改主程序中用户宏指令段内的赋值数据就可以了。

椭圆的一般方程：

$$\frac{X^2}{a^2} + \frac{Z^2}{b^2} = 1$$

在第一、二象限内可转换为

$$X = a\sqrt{1 - \frac{Z^2}{b^2}}$$

在第三、四象限内可转换为

$$X = -a\sqrt{1-\frac{Z^2}{b^2}}$$

用变量来表达上式为

#19 = #1 * SQRT[1 - [#20 * #20]/[#2 * #2]]

或　#19 = - #1 * SQRT[1 - [#20 * #20]/[#2 * #2]]

根据上述工艺分析，可画出图 2-4 宏程序的结构流程图，如图 2-5 所示。

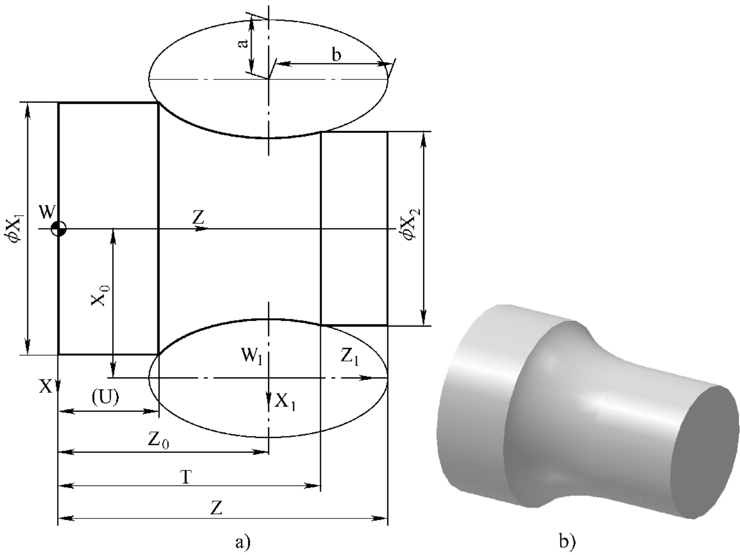


图 2-4　椭圆过渡类零件示意图
a）零件图　b）效果图

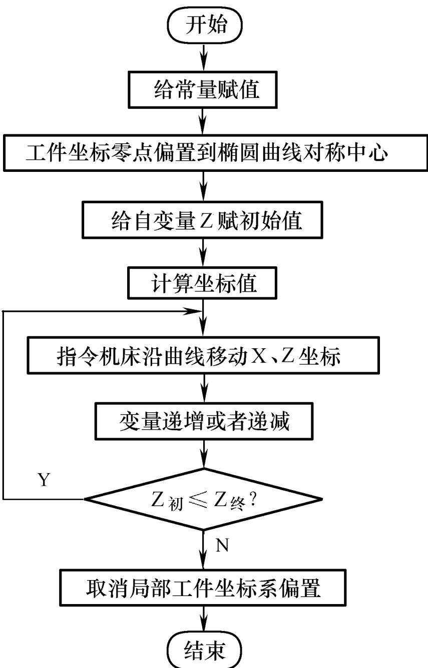


图 2-5　椭圆宏程序结构流程框图

1. FANUC 0i 数控系统车削椭圆曲线类零件的用户宏程序

自变量含义：

#24 = X_0 ；X_0—椭圆对称中心 X 绝对坐标值

#26 = Z_0 ；Z_0—椭圆对称中心 Z 绝对坐标值

#1 = a ；a—X 向椭圆短半轴长度

#2 = b ；b—Z 向椭圆短半轴长度

#19 = X_2 ；X_2—椭圆轮廓的起始点工件 X 坐标值

#20 = Z_2 ；Z_2—椭圆轮廓的起始点工件 Z 坐标值

#21 = U ；U—椭圆轮廓的终点工件 Z 坐标值

#6 = K ；K—递变量（凹椭圆为负，凸椭圆为正）

#9 = F ；F—切削速度

主程序如下：

O××××；主程序名

N010 G18 G99 G97 G21 G95 G90 G54 G40；工艺加工状态设置

⋮

N050 T0202；调用精加工车削椭圆曲线轮廓的刀具

N055 M03 S1000；切换精加工转速

N060 G65 P31 X__ Z__ A__ B__ S__ T__ U__ K__ F__；调用车削椭圆曲线类零件的用户宏程序

⋮

N085 M05；主轴停止

N090 M30；程序结束并返回程序开头

O31；用户宏程序名

N005 G52 X#24 Z#26；以椭圆对称中心设定局部工件坐标系

N010 #19 = #1 * SQRT[1 - [#20 * #20]/[#2 * #2]]；椭圆上任一点 X 坐标值计算

N015 G01 X#19 Z#20 F#9；直线插补椭圆

N020 #20 = #20 - #6；步距轴向叠减

N025 IF [#20GE#21] GOTO10；如果#20 大于或等于#21，则程序跳转到 N010 程序段

N030 G52 X0 Z0；取消局部工件坐标系偏置

N035 M99；子程序结束并返回主程序

2. SINUMERIK 802D 数控系统车削椭圆曲线类零件的用户 R 参数程序

R 参数含义：

R24 = X_0 ；X_0—椭圆对称中心的工件坐标横向绝对坐标值

R26 = Z_0 ；Z_0—椭圆对称中心的工件坐标纵向绝对坐标值

R1 = a ；a—X 向椭圆短半轴长度

R2 = b ；b—Z 向椭圆短半轴长度

R19 = X_2 ；X_2—椭圆轮廓的起始点工件 X 坐标值

R20 = Z_2 ；Z_2—椭圆轮廓的起始点工件 Z 坐标值

R21 = U ; U—椭圆轮廓的终点工件 Z 坐标值
R6 = K ; K—递变量（凹椭圆为负，凸椭圆为正）
R9 = F ; F—切削速度

主程序如下：

× × × × × × × × ；程序名
N010 G18 G95 G97 G54 G40；工艺加工状态设置
⋮
N050 T02 D02；调用车削椭圆曲线轮廓的刀具
N055 M03 S1000；切换精加工转速
N060 R1 = __ R2 = __ R19 = __ R20 = __ R21 = __ R6 = __ R9 = __ R24 = __ R26 = __；参数设置
N065 L31；调用车削椭圆曲线类零件的用户 R 参数程序
⋮
N085 M05；主轴停止
N090 M02；程序结束并返回程序开头

R 参数子程序：

L31. SPF；R 参数子程序名
N005 TRANS X = R24 Z = R26 ；以椭圆曲线对称中心设定局部工件坐标系
N010 MARKE1：R19 = R1 * SQRT[1 - [R20 * R20]/[R2 * R2]]；椭圆上任一点 X 坐标值计算
N015 G01 X = R19 Z = R20 F = R9；直线插补椭圆
N020 R20 = R20 - R6；步距轴向叠减
N025 IF R20 >= R21 GOTOB MARKE1；如果 R20 大于或等于 R21，则跳转到 N010 程序段
N030 TRANS；取消局部工件坐标系偏置
N035 RET；子程序结束并返回主程序

3. HNC—21/22T 华中世纪星数控系统车削椭圆曲线类零件的用户宏程序

局部变量含义：

#23 = X_0 ; X_0—椭圆对称中心的工件坐标横向绝对坐标值
#25 = Z_0 ; Z_0—椭圆对称中心的工件坐标纵向绝对坐标值
#0 = a ; a—X 向椭圆短半轴长度
#1 = b ; b—Z 向椭圆短半轴长度
#18 = X_2 ; X_2—椭圆轮廓的起始点工件 X 坐标值
#19 = Z_2 ; Z_2—椭圆轮廓的起始点工件 Z 坐标值
#20 = U ; U—椭圆轮廓的终点工件 Z 坐标值
#6 = K ; K—递变量（凹椭圆为负，凸椭圆为正）
#5 = F ; F—切削速度

主程序如下：

O × × × × ；文件名

%××××；程序号

N010　G18　G99　G97　G21　G95　G90　G54　G40；工艺加工状态设置

⋮

N050　T0404；调用精加工车削抛物线轮廓的刀具

N055　M03　S1000；切换精加工转速

N060　M98　P31　X__　Z__　A__　B__　S__　T__　U__　K__　F__；调用车削椭圆曲线类零件的用户宏程序

⋮

N085　M05；主轴停止

N090　M30；程序结束并返回程序开头

用户宏子程序如下：

%31；宏程序名

N005　G68　X[#23]　Z[#25]　P0；以椭圆对称中心设定为工件坐标系旋转中心

N010　WHILE　#19GE#20；如果#19 小于#20，则跳转到 N030 程序段

N015　#18 = #0 * SQRT[1 - [#19 * #19]/[#1 * #1]]；椭圆上任一点 X 坐标值计算

N020　G01　X[#23 + #18]　Z[#25 + #19]　F[#5]；直线插补椭圆

N025　#19 = #19 - #10；步距轴向叠减

N030　ENDW；返回循环体

N035　G69；取消工件坐标系旋转

N040　M99；子程序结束并返回主程序

4. 编程实例

在数控车床上加工图 2-6 所示一椭圆过渡类零件，椭圆长半轴为 20.0mm，短半轴为 10.0mm；零件毛坯尺寸（外圆×长）为 ϕ45mm×80mm。试用变量（或参数）编写出加工此类零件的宏程序。

解：

（1）工艺设计　建立图 2-6 所示编程坐标系，机床坐标系偏置值设置在 G54 寄存器中。先用数控系统的简化编程指令（固定循环）粗加工零件各级外圆，然后再粗加工过渡椭圆曲线，最后对工件精加工。

（2）切削用量　1 号刀为外圆粗车刀，粗加工时，主轴转速 600r/min，进给速度 0.35mm/r；2 号刀为外圆精车刀，精加工时，主轴转速 850r/min，进给速度 0.2mm/r；车刀起始位置在工件坐标系右侧（50，57）处，精加工余量为 0.5mm。

（3）加工参考程序

1）FANUC 0i 数控系统

O××××；主程序名

N10　G54　G18　G21　G99；程序运行初始状态设置

N15　M03　S600　T0101；主轴正转 600r/min，调用粗车刀

N20　G00　X50.0　Z100.0　M07；刀具起刀点，打开切削液

N25　M98　P1；调用轮廓粗加工循环子程序

N30　G00　X50.0　Z100.0；刀具退回到起刀点

N35　G65　P31　X25.0　Z35.0　A10.0　B20.0　S15.0　T35.0　U16.7　K0.5 F0.35；调用椭圆加工宏程序粗加工

N40　G00　X50.0　Z100.0；刀具退回到起刀点

N45　M03　S850　T0202；主轴正转 850r/min，调用精车刀

N50　G00　X30.0　Z57.0；刀具快速移动到精加工准备点

N55　G01　Z35　F0.2；精车削 ϕ30 外圆

N60　G65　P31　X25.0　Z35.0　A10.0　B20.0　S15.0　T35.0　U16.7　K0.2 F0.2；调用椭圆加工宏程序精加工

N65　G01　Z－1.0；精车削 ϕ42 外圆

N70　G00　X45　M09；刀具退离零件，切削液停止

N75　G00　X80　Z100　M05；刀具退到换刀点，主轴停止

N80　M30；程序结束并返回程序开头

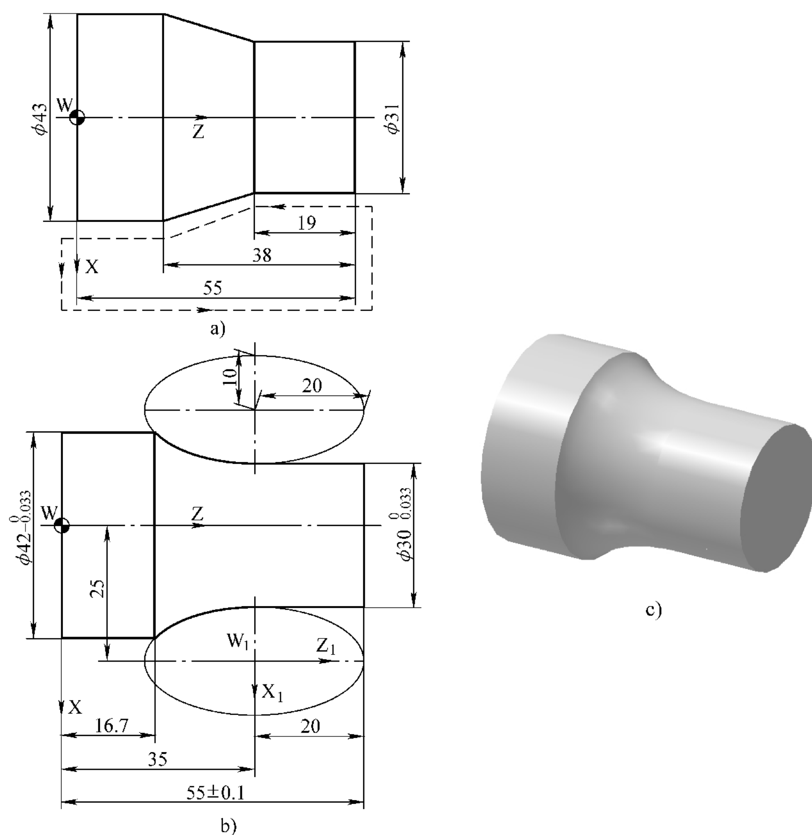


图 2-6　椭圆过渡类零件编程实例示意图

a）走刀路线图　b）尺寸图　c）效果图

子程序：

O1；轮廓粗加工循环子程序（略）

⋮

M99；子程序结束，并返回主程序

宏程序：

O31；椭圆加工宏程序（见上）

⋮

M99；子程序结束，并返回主程序

2）SINUMERIK 802D 数控系统

FZG×××××；主程序名

N10　G54　G18　G71　G99；程度运行初始状态设置

N15　M03　S600　T01　D01；主轴正转600r/min，调用粗车刀

N20　G00　X50.0　Z100.0　M07；快速运行到刀具起刀点，打开切削液

N25　L1；调用轮廓粗加工循环子程序

N30　G00　X50.0　Z100.0；刀具退回到起刀点

N35　R1=10　R2=20　R19=15　R20=35　R21=16.7　R6=0.5　R9=0.35　R24=25.0　R26=35.0；参数设置

N40　L31；调用椭圆加工宏程序粗加工

N45　G00　X50.0　Z100.0；刀具退回到起刀点

N50　M03　S850　T02　D02；主轴正转850r/min，调用精车刀

N55　G00　X30.0　Z57.0；刀具快速移动到精加工准备点

N60　G01　Z35　F0.2；精车削 ϕ30 外圆

N65　R6=0.2　R9=0.2；参数设置

N70　L31；调用椭圆加工宏程序精加工

N75　G01　Z-1.0；精车削 ϕ42 外圆

N80　G00　X45　M09；刀具退离零件，切削液停止

N85　G00　X80　Z100　M05；刀具退到换刀点，主轴停止

N90　M02；程序结束并返回程序开头

子程序：

L1；轮廓粗加工循环子程序（略）

⋮

RET；子程序结束并返回主程序

R参数程序：

L31；椭圆加工宏程序（见上）

⋮

RET；子程序结束并返回主程序

3）HNC—21/22M 华中世纪星数控系统

O××××；文件名

%231；程序名

N10　G54　G18　G21　G99；程度运行初始状态设置

N15　M03　S600　T0101；主轴正转600r/min，调用粗车刀

N20　G00　X50.0　Z100.0　M07；快速运行到刀具起刀点，打开切削液

N25　M98　P1；调用轮廓粗加工循环子程序

N30　G00　X50.0　Z100.0；刀具退回到起刀点

N35　M98　P31　X25.0　Z35.0　A10.0　B20.0　S15.0　T35.0　U16.7　K0.5　F0.35；调用椭圆加工宏程序粗加工

N40　G00　X50.0　Z100.0；刀具退回到起刀点

N45　M03　S850　T0202；主轴正转 850r/min，调用精车刀

N50　G00　X30.0　Z57.0；刀具快速移动到精加工准备点

N55　G01　Z35　F0.2；精车削 ϕ30 外圆

N60　M98　P31　A10.0　B20.0　S15.0　T20.0　W38.3　K0.2　F0.2；调用椭圆加工宏程序精加工

N65　G01　Z－1.0；精车削 ϕ42 外圆

N70　G00　X45　M09；刀具退离零件，切削液停止

N75　G00　X80　Z100　M05；刀具退到换刀点，主轴停止

N80　M30；程序结束并返回程序开头

子程序：

%1；轮廓粗加工循环子程序（略）

⋮

M99；子程序结束并返回主程序

宏程序：

%31；椭圆加工宏程序（见上）

⋮

M99；子程序结束并返回主程序

2.3.2　双曲线过渡类零件的宏程序和 R 参数编程

编制一个车削加工图 2-7 所示带有双曲线过渡类零件的通用程序，假设工件最终加工大外圆外径为 ϕX_2，小外圆外径为 ϕX_1，过渡双曲线方程为 $X^2/a^2 - Z^2/b^2 = 1$，双曲线实半轴长为 a，虚半轴长为 b。使用变量（或参数）编制此类零件的宏程序。

工艺分析：车削图 2-7 所示双曲线过渡的回转零件时，一般先把工件坐标原点偏置到双曲线对称中心上，然后采用直线逼近（也叫拟合）法，即在 Z 向分段，以 0.2～0.5mm 为一个步距，并把 Z 作为自变量，X 作为 Z 的函数。为了适应不同的双曲线（即不同的实、虚轴）、不同的起始点和不同的步距，我们可以编制一个只用变量不用具体数据的宏程序，然后在主程序中呼出该宏程序的用户宏指令段为上述变量赋值。这样，对于不同的双曲线、不同的起始点和不同的步距，不必更改程序，而只要修改主程序中用户宏指令段内的赋值数据就可以了。

双曲线的一般方程：

$$\frac{X^2}{a^2} - \frac{Z^2}{b^2} = 1$$

在第一、四象限内可转换为

$$X = a\sqrt{1 + \frac{Z^2}{b^2}}$$

在第二、三象限内可转换为

$$X = -a\sqrt{1 + \frac{Z^2}{b^2}}$$

用变量来表达上式为

#23 = #1 * SQRT[1 + [#19 * #19]/[#2 * #2]]

或 #23 = -#1 * SQRT[1 + [#19 * #19]/[#2 * #2]]

根据上述工艺分析，可画出图 2-7 宏程序的结构流程框图，如图 2-8 所示。

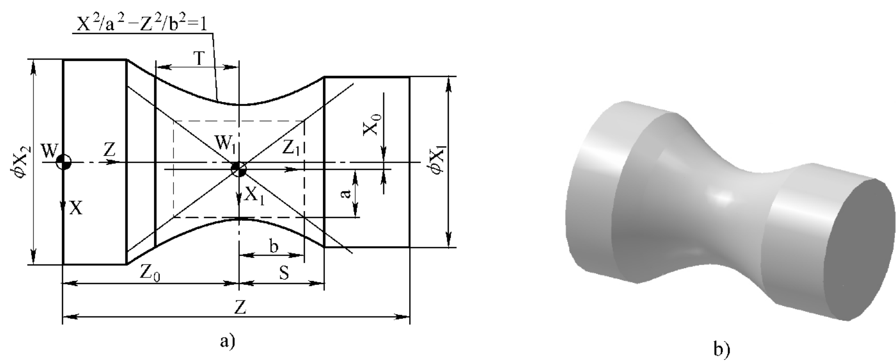


图 2-7 双曲线过渡类零件示意图

a）零件图 b）效果图

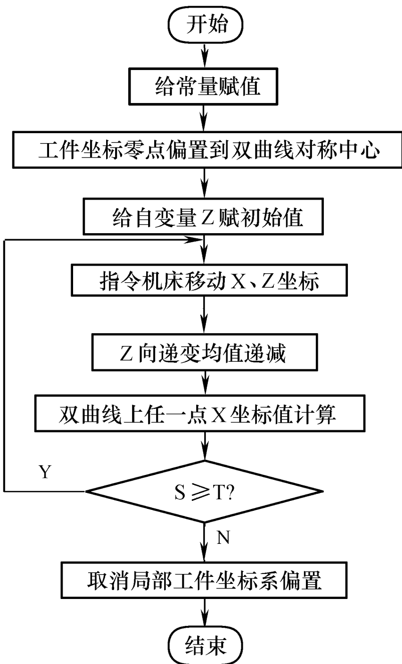


图 2-8 双曲线宏程序结构流程框图

1. FANUC 0i 数控系统车削双曲线类零件的用户宏程序

自变量含义：

#24 = X_0　；X_0—双曲线对称中心的工件坐标横向绝对坐标值
#26 = Z_0　；Z_0—双曲线对称中心的工件坐标纵向绝对坐标值
#1 = a　；a—双曲线实半轴长
#2 = b　；b—双曲线虚半轴长
#19 = S　；S—双曲线起点离开对称中心的 Z 向距离值
#20 = T　；T—双曲线终点离开对称中心的 Z 向距离值
#21 = U　；U—双曲线起点的 X 向半径坐标值（$U = X_1/2$）
#6 = K　；K—Z 向递变均值
#9 = F　；F—切削速度

主程序如下：

O××××；主程序名
N010　G18　G99　G97　G54　G40；工艺加工状态设置
⋮
N050　T0202；调用精加工车削双曲线轮廓的刀具
N055　M03　S1000；切换精加工转速
N060　G65　P32　X__　Z__　A__　B__　S__　T__　U__　K__　F__；调用车削双曲线类零件的用户宏程序
⋮
N085　M05；主轴停止
N090　M30；程序结束并返回程序开头

用户宏子程序：

O32；子程序名
N010　G52　X#24　Z#26；以双曲线对称中心设定局部工件坐标系
N015　G01　X#21　Z#19　F#9；沿着双曲线作直线插补
N020　#19 = #19 - #6；Z 向步距均值叠减
N025　#21 = #1 * SQRT[1 + [#19 * #19]/[#2 * #2]]；双曲线上任一点 X 坐标值计算
N030　IF [#19GE#20] GOTO15；如果#19 大于或等于#20，则跳转到 N015 程序段
N035　G52　X0　Z0；取消局部工件坐标系偏置
N040　M99；子程序返回

2. SINUMERIK 802D 数控系统对车削双曲线类零件的用户 R 参数程序

R 参数含义：

R24 = X_0　；X_0—双曲线对称中心的工件坐标横向绝对坐标值
R26 = Z_0　；Z_0—双曲线对称中心的工件坐标纵向绝对坐标值
R1 = a　；a—双曲线实半轴长
R2 = b　；b—双曲线虚半轴长
R19 = S　；S—双曲线起点离开对称中心的 Z 向距离值
R20 = T　；T—双曲线终点离开对称中心的 Z 向距离值

R21 = U ; U—双曲线起点的 X 向半径坐标值（U = X_1/2）
R6 = K ; Z 向递变均值
R9 = F ; F—切削速度
主程序如下：
× × × × × × × ×；程序名
N010 G18 G95 G97 G54 G40；工艺加工状态设置
⋮
N050 T02 D02；调用车削椭圆曲线轮廓的刀具
N055 M03 S1000；切换精加工转速
N060 R24 = __ R26 = __ R1 = __ R2 = __ R19 = __
R20 = __ R21 = __ R6 = __ R9 = __；参数设置
N065 L32；调用车削双曲线类零件的用户 R 参数程序
⋮
N085 M05；主轴停止
N090 M02；程序结束并返回程序开头
R 参数子程序：
L32. SPF；R 参数子程序名
N010 TRANS X = R24 Z = R26；以双曲线对称中心设定局部工件坐标系
N015 MARKE1：G01 X = R21 Z = R19 F = R9；沿着双曲线作直线插补
N020 R19 = R19 - R6；Z 向步距均值叠减
N025 R21 = R1 * SQRT[1 + [R19 * R19]/[R2 * R2]]；双曲线上任一点 X 坐标值计算
N030 IF R19 > = R20 GOTOB MARKE1；如果 R19 大于或等于 R20，跳转到 MARKE1 程序段
N035 TRANS ；取消局部工件坐标系偏置
N040 RET ；子程序结果并返回主程序

3. HNC—21/22T 华中世纪星数控系统车削双曲线类零件的用户宏程序

局部变量含义：
#23 = X_0 ；X_0—双曲线对称中心的工件坐标横向绝对坐标值
#25 = Z_0 ；Z_0—双曲线对称中心的工件坐标纵向绝对坐标值
#0 = a ；a—双曲线实半轴长
#1 = b ；b—双曲线虚半轴长
#18 = S ；S—双曲线起点离开对称中心的 Z 向距离值
#19 = T ；T—双曲线终点离开对称中心的 Z 向距离值
#20 = U ；U—双曲线起点的 X 向半径坐标值（U = X_1/2）
#10 = K ；K—Z 向递变均值
#5 = F ；F—切削速度
主程序：
O × × × ×；文件名
% × × × ×；程序号

N010　G18　G99　G97　G54　G40 ；工艺加工状态设置

⋮

N050　T0202；调用精加工车削双曲线轮廓的刀具

N055　M03　S1000；切换精加工转速

N060　M98　P32　X__　Z__　A__　B__　S__　T__　U__　K__　F__ ；调用车削双曲线类零件的用户宏程序

⋮

N085　M05；主轴停止

N090　M30；程序结束并返回程序开头

用户宏子程序：

%32；宏子程序名

N010　G68　X[#23]　Z[#25]　P0 ；以双曲线对称中心设定为工件坐标系旋转中心

N015　WHILE #18GE#19；如果#18 小于#19，则程序跳转到 N030 程序段

N020　G01　X[#20]　Z[#18]　F[#5]；沿着双曲线作直线插补

N020　#18 = #18 - #10；Z 向步距均值叠减

N025　#20 = #0 * SQRT[1 + [#18 * #18]/[#1 * #1]]；双曲线上任一点 X 坐标值计算

N030　ENDW；返回循环体

N035　G69；取消工件坐标系旋转

N040　M99 ；子程序返回

4. 编程实例

在数控车床上加工如图 2-9 所示一双曲线过渡类零件，工件最终加工大外圆外径为 ϕ36mm，小外圆外径为 ϕ30mm，过渡双曲线方程为 $X^2/10^2 - Z^2/13^2 = 1$，双曲线实半轴长为 10mm，虚半轴长为 13mm。使用变量（或参数）编制此类零件的宏程序。

解：

（1）工艺设计　建立如图 2-9 所示编程坐标系，机床坐标系偏置值设置在 G54 寄存器中。先用数控系统的外圆粗加工复合循环进行粗车零件各级外圆，然后再粗加工过渡双曲线，最后对工件精加工。

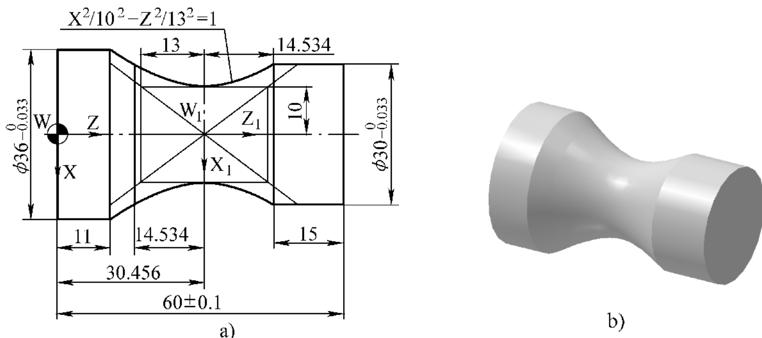


图 2-9　双曲线过渡类零件实例

a）双曲线过渡类零件编程实例尺寸图　b）效果图

（2）切削用量　1 号刀为外圆粗车刀，粗加工时主轴转速 600r/min，进给速度 0.35mm/r；2 号刀为外圆精车刀，精加工时，主轴转速 850r/min，进给速度 0.2mm/r；车刀起始位置在工件坐标系右侧（50，100）处，精加工余量为 0.5mm。

（3）加工参考程序

1）FANUC 0i 数控系统

O××××；主程序名

N10　G54　G18　G21　G99；程序运行初始状态设置

N15　M03　S600　T0101；主轴正转 600r/min，调用粗车刀

N20　G00　X50.0　Z100.0　M07；刀具起刀点，打开切削液

N25　M98　P1；调用轮廓粗加工固定循环子程序

N30　G00　X50.0　Z100.0；刀具退回到起刀点

N35　G65　P32　X0　Z30.456　U15.0　A10.0　B13.0　S14.543　T－14.543　K0.5 F0.35；调用车削双曲线类零件宏程序进行粗加工

N40　G00　X50.0　Z100.0；刀具退回到起刀点

N45　M03　S850　T0202；主轴正转 850r/min，调用精车刀

N50　G00　X30.0　Z62.0；刀具快速移动到精加工准备点

N55　G01　Z45　F0.2；精车削 ϕ30mm 外圆

N60　G65　P32　X0　Z30.456　U15.0　A10.0　B13.0　S14.543　T－14.543　K0.2 F0.2；调用车削双曲线类零件宏程序进行精加工

N65　G01　X18.0　Z11.0；精车削斜面

N70　Z－1.0；精车削 ϕ36mm 外圆

N75　G00　X45　M09；刀具退离零件，切削液停止

N80　G00　X80　Z100　M05；刀具退到换刀点，主轴停止

N85　M30；程序结束并返回程序开头

子程序：

O1；轮廓粗加工循环子程序（略）

⋮

M99；子程序结束并返回主程序

宏程序：

O32；车削双曲线类零件宏程序（见上）

⋮

M99；子程序结束，并返回主程序

2）SINUMERIK 802D 数控系统

××××××××；主程序名

N10　G54　G18　G71　G99；程序运行初始状态设置

N15　M03　S600　T01　D01；主轴正转 600r/min，调用粗车刀

N20　G00　X50.0　Z100.0　M07；快速运行到刀具起刀点，打开切削液

N25　L1；调用轮廓粗加工固定循环子程序

N30　G00　X50.0　Z100.0；刀具退回到起刀点

N35　R24 = 0　R26 = 30.456　R21 = 15　R1 = 10　R2 = 13　R19 = 14.543　R20 = −14.543　R6 = 0.5　R9 = 0.35 ；参数设置

N40　L32 ；调用双曲线加工宏程序粗加工

N45　G00　X50.0　Z100.0 ；刀具退回到起刀点

N50　M03　S850　T02　D02；主轴正转 850r/min，调用精车刀

N55　G00　X30.0　Z62.0；刀具快速移动到精加工准备点

N60　G01　Z45.0　F0.2 ；精车削 ϕ30mm 外圆

N65　R6 = 0.2　R9 = 0.2；参数设置

N70　L31 ；调用双曲线加工宏程序精加工；

N75　G01　X18.0　Z11.0；精车削斜面

N80　G01　Z −1.0；精车削 ϕ36mm 外圆

N85　G00　X45　M09 ；刀具退离零件，切削液停止

N90　G00　X80　Z100　M05；刀具退到换刀点，主轴停止

N95　M02 ；程序结束并返回程序开头

子程序：

L1；轮廓粗加工固定循环子程序（略）

⋮

RET；子程序结束并返回主程序

R 参数程序：

L32；车削双曲线类零件 R 参数程序（见上）

⋮

RET；子程序结束，并返回主程序

3）HNC—21/22T 华中世纪星数控系统

O××××；文件名

%232；程序号

N10　G54　G18　G21　G99 ；程序运行初始状态设置

N15　M03　S600　T0101；主轴正转 600r/min，调用粗车刀

N20　G00　X50.0　Z100.0　M07 ；快速运行到刀具起刀点，打开切削液

N25　M98　P1；调用轮廓粗加工固定循环子程序

N30　G00　X50.0　Z100.0 ；刀具退回到起刀点

N35　M98　P32　X0　Z30.456　U15.0　A10.0　B13.0　S14.543　T −14.543　K0.5　F0.35；调用车削双曲线类零件宏程序粗加工

N40　G00　X50.0　Z100.0 ；刀具退回到起刀点

N45　M03　S850　T0202；主轴正转 850r/min，调用精车刀

N50　G00　X30.0　Z62.0；刀具快速移动到精加工准备点

N55　G01　Z45.0　F0.2 ；精车削 ϕ30mm 外圆

N60　M98　P32　X0　Z30.456　U15.0　A10.0　B13.0　S14.543　T −14.543　K0.2　F0.2；调用车削双曲线类零件宏程序精加工

N65　G01　X18.0　Z11.0；精车削斜面

N70　Z－1.0；精车削 ϕ36 外圆
N75　G00　X45　M09；刀具退离零件，切削液停止
N80　G00　X80　Z100　M05；刀具退到换刀点，主轴停止
N85　M30；程序结束并返回程序开头
子程序：
%1；轮廓粗加工固定循环子程序（略）
⋮
M99；子程序结束并返回主程序
宏程序：
%32；车削双曲线类零件宏程序（见上）
⋮
M99；子程序结束并返回主程序

2.3.3　抛物线类零件的宏程序和 R 参数编程

编制一个车削加工图 2-10 所示具有抛物线曲线类零件的通用程序，假设抛物线开口距离为 V，抛物线方程为 $X^2=-2PZ$。

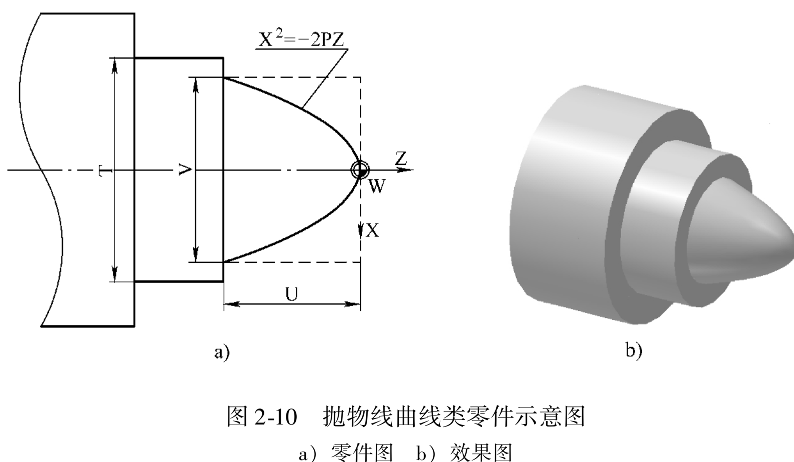


图 2-10　抛物线曲线类零件示意图
a）零件图　b）效果图

工艺分析：车削图 2-10 所示抛物线形状的回转零件时，假设工件坐标原点在抛物线顶点上，采用直线逼近（也叫拟合）法，即在 X 向分段，以 0.2～0.5mm 为一个步距，并把 X 作为自变量，Z 作为 X 的函数。为了适应不同的抛物线曲线（即不同的对称轴和不同的焦点）、不同的起始点和不同的步距，我们可以编制一个只用变量不用具体数据的宏程序，然后在主程序中呼出该宏程序的用户宏指令段为上述变量赋值。这样，对于不同的抛物线、不同的起始点和不同的步距，不必更改程序，而只要修改主程序中用户宏指令段内的赋值数据就可以了。

抛物线的一般方程：

$$X^2=\pm 2PZ(\text{或 } Z^2=\pm 2PX)$$

可转换为

$$Z = \pm X^2/2P(\text{或} X = \pm Z^2/2P)$$

用变量来表达上式为

#26 = ±[#24 * #24]/[2 * #16]

或　#24 = ±[#26 * #26]/[2 * #16]

根据上述工艺分析，可画出图 2-10 宏程序的结构流程框图，如图 2-11 所示。

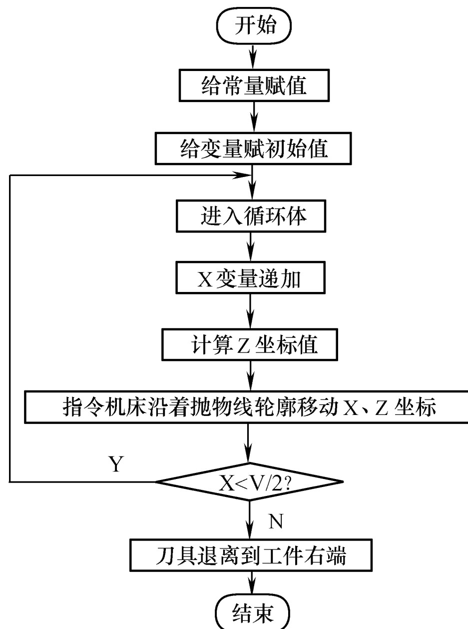


图 2-11　抛物线宏程序结构流程框图

1. FANUC 0i 数控系统对抛物线曲线类零件精车削的用户宏程序

自变量含义：

#24 = X_0　; X_0—抛物线顶点的工件坐标横向绝对坐标值

#26 = Z_0　; Z_0—抛物线顶点的工件坐标纵向绝对坐标值

#17 = Q　; Q—抛物线焦点坐标在 Z 轴上绝对值的 2 倍（P）

#22 = V　; V—抛物线的开口距离

#6 = K　; K—X 向递减均值

#9 = F　; F—切削速度

主程序如下：

O××××；主程序名

N010　G18　G99　G97　G54　G40；工艺加工状态设置

⋮

N100　T0404；调用精加工车削抛物线轮廓的刀具

N105　M03　S1000；切换精加工转速

N110　G65　P2313　X __　Z __　Q __　V __　K __　F __；调用精车削抛物线形状轮廓的用户宏程序

⋮
N155　M05 ；主轴停止
N160　M30 ；程序结束并返回程序开头
用户宏程序如下：
O2313；宏子程序名
N010　G00　X#24　Z［#26 +5］；刀具快速接近抛物线顶点处
N020　G01　Z#26　F［2＊#9］；以工进速度直线插补到抛物线顶点
N030　#24 = #24 - #6；X 向步距均值递减
N040　#26 = -［#24＊#24］/［2＊#17］；由 X 值计算抛物线上任一点 Z 坐标值
N050　G01　X#24　Z#26　F#9；沿着抛物线作直线插补
N060　IF［#24LT#22/2］　GOTO30；如果#24 小于#22/2，则跳转到 N030 程序段
N070　G01　X#22　Z#26　F［3＊#9］；斜线退到工件右端面外
N080　M99 ；子程序结束并返回主程序

2. SINUMERIK 802D 数控系统对抛物线曲线类零件精车削的用户 R 参数程序

R 参数含义：
R24 = X_0　；X_0—抛物线顶点的工件坐标横向绝对坐标值
R26 = Z_0　；Z_0—抛物线顶点的工件坐标纵向绝对坐标值
R17 = Q　；Q—抛物线焦点坐标在 Z 轴上绝对值的 2 倍（P）
R22 = V　；V—抛物线的开口距离
R6 = K　；K—X 向递减均值
R9 = F　；F—切削速度
主程序如下：
××××××××;程序名
N010　G18　G95　G97　G54　G40;工艺加工状态设置
⋮
N100　T04　D04;调用精加工车削抛物线轮廓的刀具
N105　M03　S1000;切换精加工转速
N110　R24 = __　R26 = __　R17 = __　R22 = __　R6 = __　R9 = __;参数设置
N110　L2313;调用精车削抛物线形状轮廓的用户 R 参数程序
⋮
N155　M05;主轴停止
N160　M02;程序结束并返回程序开头
R 参数子程序如下：
L2313. SPF;R 参数子程序名
N010　G00　X = R24　Z = R26 +5 ;刀具快速接近抛物线顶点处
N020　G01　Z = R26　F = 2＊R9;以工进速度直线插补到抛物线顶点
N030　MARKE1:R24 = R24 - R6;X 向步距均值递减
N040　R26 = -［R24＊R24］/［2＊R17］;由 X 值计算抛物线上任一点 Z 坐标值
N050　G01　X = R24　Z = R26　F = R9;沿着抛物线作直线插补

N060　IF R24 < [R22/2]　GOTOB　MARKE1;如果 R24 小于 R22/2,则跳转到 MARKE1 标志符程序段

N070　G01　X = R22　Z = R26　F = 3 * R9;斜线退到工件右端面外

N080　RET;子程序结束并返回主程序

3. HNC—21/22T 华中世纪星数控系统对抛物线曲线类零件精车削的用户宏程序

局部变量含义:

#23 = X_0　;X_0—抛物线顶点的工件坐标横向绝对坐标值

#25 = Z_0　;Z_0—抛物线顶点的工件坐标纵向绝对坐标值

#16 = Q　;Q—抛物线焦点坐标在 Z 轴上绝对值的 2 倍(P)

#21 = V　;V—抛物线的开口距离

#10 = K　;K—X 向递减均值

#5 = F　;F—切削速度

主程序如下:

O × × × ×;文件名

% × × × ×;程序号

N010　G18　G99　G97　G54　G40　;工艺加工状态设置

⋮

N100　T0404;调用精加工车削抛物线轮廓的刀具

N105　M03　S1000;切换精加工转速

N110　M98　P2313　X __　Z __　Q __　V __　K __　F __;调用精车削抛物线形状轮廓的用户宏程序

⋮

N155　M05;主轴停止

N160　M30;程序结束并返回程序开头

%2313;用户宏子程序号

N010　G00　X[#23]　Z[#25 + 5];刀具快速接近抛物线顶点处

N020　G01　Z[#25]　F[2 * #5];以工进速度直线插补到抛物线顶点

N030　WHILE #23LT[#21/2];如果#23 大于#21/2,则跳转到 N080 程序段

N040　#23 = #23 + #6;X 向步距均值递加

N050　#25 = -[#23 * #23]/[2 * #17];由 X 值计算抛物线上任一点 Z 坐标值

N060　G01　X[#23]　Z[#25]　F[#5];沿着抛物线作直线插补

N070　ENDW;返回循环体

N080　G01　X[#21]　Z[#25]　F[3 * #5];斜线退到工件右端面外

N090　M99;子程序结束并返回主程序

4. 编程实例

在数控车床上加工如图 2-12 所示一抛物线形状的零件，抛物线的开口距离为 42mm，抛物线方程为 $X^2 = -10Z$，试编写此零件的数控加工程序。

解:

(1) 工艺设计　建立如图 2-12 所示编程坐标系，机床坐标系偏置值设置在 G54 寄存器

中。零件各级外圆先采用数控系统内外圆粗加工复合循环和精加工复合循环进行车削加工，然后再对抛物线形状轮廓进行余量切除，最后再调用精车削抛物线形状轮廓的用户宏程序对其进行精加工。

（2）切削用量　1 号刀为外圆粗车刀，粗加工时，主轴转速 680r/min，进给速度 0.25mm/r；2 号刀为外圆精车刀，精加工时，主轴转速 1000r/min，进给速度 0.1mm/r；车刀起始位置在工件坐标系右侧（90，100）处，精加工余量为 0.5mm。

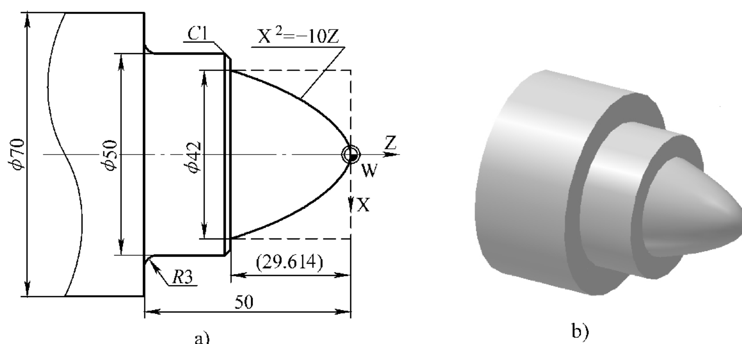


图 2-12　抛物线轮廓形状零件编程实例示意图
a）抛物线轮廓形状零件编程实例尺寸图　b）效果图

（3）加工参考程序

1）FANUC 0i 系统

O××××；主程序名

N10　G54　G18　G21　G97　G95；程序运行初始状态设置

N15　T0101；调用 1 号粗车刀

N20　M03　S680；主轴正转 680r/min

N25　G00　X90.0　Z100.0　M07；刀具起刀点，打开切削液

N30　M98 P1；调用外圆粗、精加工复合循环子程序

N35　G00 X90.0　Z100.0；刀具退回到起刀点

N50　M98　P2；调用抛物线形状轮廓余量切除子程序

N60　G00　X90.0　Z100.0；刀具退回到起刀点

N65　T0202；调用 2 号精车刀

N70　M03　S1000；切换主轴转速到精车转速，主轴正转 1000r/min

N75　G65　P2313　X0　Z0.　Q5.0　V42.0　K0.1　F0.1；调用抛物线形状轮廓精车削的用户宏程序

N80　G00　X90.0　Z100.0　M09；刀具退离零件，切削液停止

N85　M05；主轴停止

N90　M30；程序结束并返回程序开头

子程序：

O1;外圆粗、精加工复合循环子程序(略)
⋮
M99;子程序结束,并返回主程序
O2;抛物线形状轮廓余量切除子程序(略)
⋮
M99;子程序结束,并返回主程序
O2313;抛物线形状轮廓精车削的用户宏程序(见上)
⋮
M99;子程序结束,并返回主程序

2) SINUMERIK 802D 数控系统

××××××××;主程序名
N10　G54　G18　G71　G95　G97;程序运行初始状态设置
N15　T01　D01;调用 1 号粗车刀
N20　M03　S680;主轴正转 680r/min
N25　G00　X90.0　Z100.0　M07;刀具起刀点,打开切削液
N30　L1;调用外圆粗、精加工复合循环子程序
N35　G00　X90.0　Z100.0;刀具退回到起刀点
N50　L2;调用抛物线形状轮廓余量切除子程序
N60　G00　X90.0　Z100.0;刀具退回到起刀点
N65　T02　D02;调用 2 号精车刀
N70　M03　S1000;切换主轴转速到精车转速,主轴正转 1000r/min
N75　R24=0　R26=0　R17=5.0　R22=42.0　R6=0.1　R9=0.1;参数设置
N80　L2313;调用抛物线形状轮廓精车削的用户 R 参数程序
N85　G00　X90.0　Z100.0　M09;刀具退离零件,切削液停止
N90　M05;主轴停止
N95　M30;程序结束并返回程序开头
子程序:
L1.SPF;外圆粗、精加工复合循环子程序(略)
⋮
RET;子程序结束,并返回主程序
L2.SPF;抛物线形状轮廓余量切除子程序(略)
⋮
RET;子程序结束并返回主程序
L2313.SPF;抛物线形状轮廓精车削的用户 R 参数程序(见上)
⋮
RET;子程序结束并返回主程序

3) HNC—21/22T 华中世纪星数控系统

O××××;文件名
%××××;程序号

N10 G54 G18 G21 G99;程序运行初始状态设置

N15 T0101;调用1号粗车刀

N20 M03 S680;主轴正转680r/min

N25 G00 X90.0 Z100.0 M07 ;刀具起刀点,打开切削液

N30 M98 P1;调用外圆粗、精加工复合循环子程序

N35 G00 X90.0 Z100.0 ;刀具退回到起刀点

N50 M98 P2 ;调用抛物线形状轮廓余量切除子程序

N60 G00 X90.0 Z100.0;刀具退回到起刀点

N65 T0202;调用2号精车刀

N70 M03 S1000;切换主轴转速到精车转速,主轴正转1000r/min

N75 M98 P2313 X0 Z0. Q5.0 V42.0 K0.1 F0.1;调用抛物线形状轮廓精车削的用户宏程序

N80 G00 X90.0 Z100.0 M09;刀具退离零件,切削液停止

N85 M05;主轴停止

N90 M30;程序结束并返回程序开头

子程序:

%1;外圆粗、精加工复合循环子程序(略)

⋮

M99;子程序结束并返回主程序

%2;抛物线形状轮廓余量切除子程序(略)

⋮

M99;子程序结束并返回主程序

%2313;抛物线形状轮廓精车削的用户宏程序(见上)

⋮

M99;子程序结束并返回主程序

2.4 数控车削典型曲面零件的宏程序编程实例分析

实例1

图2-13所示零件,毛坯为ϕ60mm×117mm和ϕ60mm×60mm的45钢,试分析其加工工艺并编写其数控车削加工程序。

1. 工艺分析

该零件外表面由圆柱面、圆锥面、圆弧面、抛物线曲面及凹槽等表面组成,内表面由圆锥面和圆柱面组成;其中多个直径尺寸有较严的尺寸精度和表面粗糙度等要求。

(1) 编程与加工难点分析 该零件编程与加工难点在于抛物线与R40mm圆弧线组成的凹槽编程与加工。编程时,首先需得出抛物线($X=0.1Z^2$)与R40mm圆弧线的切点坐标,这需通过在同一个工件坐标系中的抛物线和圆的联立方程求出相切点;或通过CAD软件绘图,先画出公式曲线(抛物线),再画出R6mm圆弧,最后作出两曲线的公切线,分析得出其基点坐标,如图2-14所示。

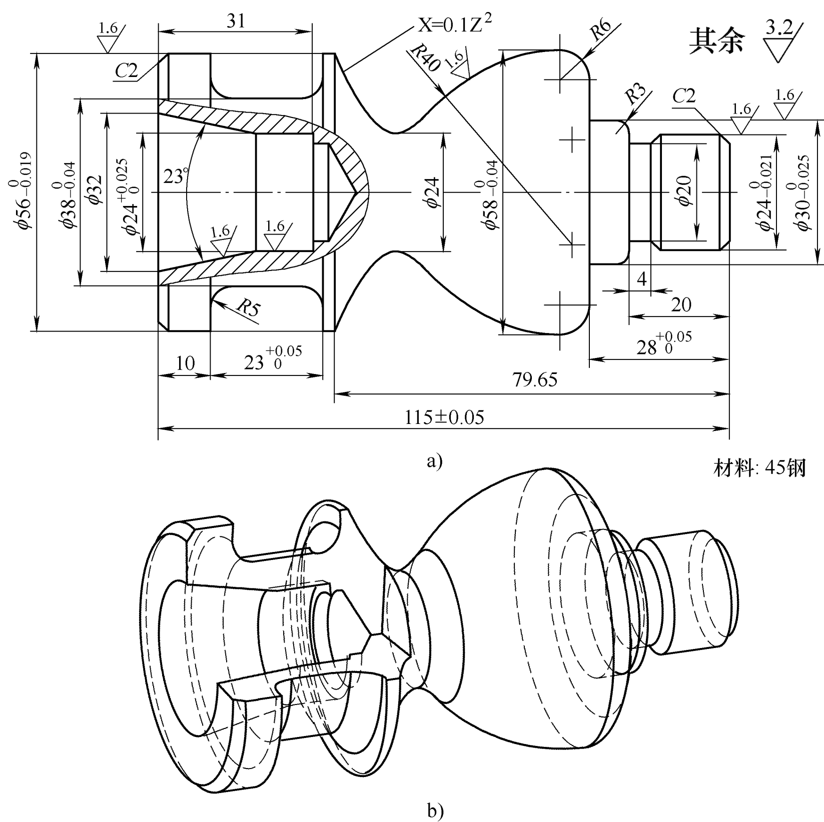


图 2-13 零件示意图

a)零件图 b)效果图

由于抛物线与 $R40$ 圆弧线组成的凹槽比较窄和深，且余量较多，在加工中应用轮廓循环指令切削余量时需多次分层切削。这将产生空走刀，因此，为了减少空走刀，先采用切槽循环切除凹余量，随后再应用轮廓循环加工，如图 2-15 所示。

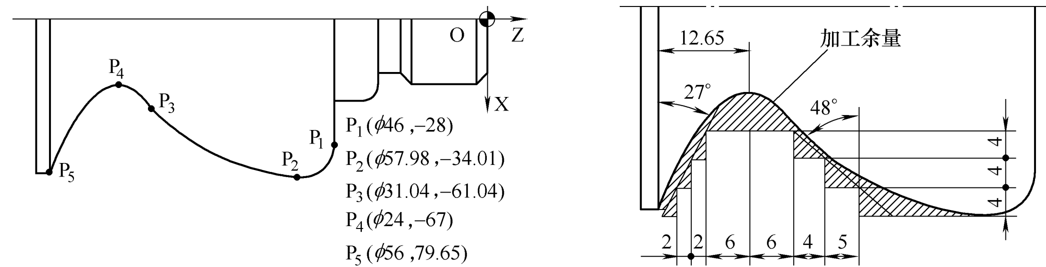


图 2-14 基点坐标

图 2-15 切槽尺寸

1）系统毛坯切削循环指令选择。因为此零件外轮廓为凸凹轮廓,所以在选择毛坯切削循环系统指令时,要考虑所用系统的毛坯切削循环指令是否能用于凸凹轮廓毛坯切削。

FANUC 系统的毛坯切削循环指令 G71 不能用于凸凹轮廓毛坯的车削,只能选用成形复合循环指令 G73 来进行。

指令格式:

G73 U(△i) W(△k) R(d);

G73 P(ns) Q(nf) U(△u) W(△w) F(f) S(s) T(t);

SINUMEIK 802D 系统的毛坯切削循环指令 CYCLE95 可以用于凸凹轮廓毛坯切削。

指令格式:CYCLE95(NPP, NID, FALZ, FALX, FAL, FF1, FF2, FF3, VARI, DT, DAM, _VRT);

HNC－21/22M 华中世纪星数控系统的内(外)径粗车复合循环 G71 可以用于凸凹轮廓毛坯切削。

指令格式:G71 U(△d) R(r) P(ns) Q(nf) E(e) F(f) S(s) T(t);

2）非圆曲线的程序编制。编程时采用宏程序或参数进行编程。非圆曲线抛物线编程时，通过抛物线的公式 $X=0.1Z^2$，以 Z 坐标作为自变量，每次增量为 0.1mm，X 为因变量，变化范围为抛物线开口一端到另一端距离的－11.0～－10.0，根据公式 $X=0.1Z^2$ 计算出相应的 X 坐标。

3）凸凹轮廓车削的刀具选择。车削凸凹轮廓时，应特别注意刀具副偏角的选择，以防止刀具后面与工件已加工表面发生干涉。基于本工件的抛物线凹槽比较深和窄，因此，选择 35°菱形刀片机夹式刀具，刀具的主偏角取 93°，副偏角取 72.5°，这样无论从哪一点起始车削抛物线轮廓，均不会发生干涉。

（2）加工方案　先加工零件左侧外圆、凹槽和内轮廓，保证尺寸精度和表面粗糙度；然后调头车对总长，钻定位孔，再以一夹一顶的方式装夹加工零件右侧外轮廓，保证各项尺寸精度和抛物线轮廓度及表面粗糙度。

2. 程序流程结构框图（略）

3. 程序编制

选择车削过后的左、右端面回转中心作为工件坐标原点。选择的刀具：T01 为 90°外圆车刀；T02 为外切槽刀（刀头宽度 4mm）；T03 为 35°菱形车刀，刀具的主偏角取 93°；T04 为螺纹车刀。其加工程序如下：

（1）FANUC 0i 数控系统

O××××；主程序名

N010 G18 G99 G97 G21 G95 G54 G40；程序运行初始状态设置

N015 T0101；调用 1 号 90°外圆车刀

N020 M03 S680；主轴正转，转速 680 r/min

N025 G90 G00 X100.0 Z100.0 M08；刀具起刀点，打开切削液

N030 X62.0 Z2.0；刀具快速移到轴向切削循环指令（G90）起点

N035 G90 X58.5 Z－79.5 F0.15；轴向切削循环加工 ϕ58.5mm 圆柱面

N040 G00 X100.0 Z100.0 M09；刀具快速退回程序起点，关闭切削液

N045 T0202；调用 2 号外切槽刀（刀头宽度 4mm）

N050　M03　S500；主轴正转，转速 500 r/min
N055　G00　X62.0　Z－67.0　M08；刀具快速移到切槽起点，打开切削液
N060　M98　P3001；调用切槽子程序切槽加工
N065　G00　X100.0　Z100.0　M09；刀具快速退回程序起点，关闭切削液
N070　T0303；调用 3 号 35°菱形精车刀
N075　M03　S800；主轴正转，转速 800 r/min
N080　G00　X62.0　Z2.0　M08；刀具快速移到粗车循环起点，打开切削液
N085　G73　U5.0　W0　R5.0；成形粗车循环 X 向退 5mm，粗车循环 5 次
N090　G73　P095　Q185　U0.5　W0.0　F0.1；成形粗车循环，精车余量 X 向 0.5mm，Z 向 0
N095　G41　G01　X20.0　Z0.0　S1500　F0.05；到加工起始点，加入刀尖圆弧半径左补偿
N100　X24.0　Z－2.0；直线插补加工 $C2$mm 倒角面
N105　Z－14.0；直线插补加工 ϕ24mm 圆柱面
N110　X20.0　Z－16.0；直线插补加工 $C2$mm 倒角面
N115　Z－20.0；直线插补加工 ϕ20mm 圆柱面
N120　X26.0；直线插补加工 ϕ30mm 右端面
N125　G03　X30.0　Z－23.0　R3.0；逆时针圆弧插补加工 $R3$mm 圆弧
N130　G01　Z－28.0；直线插补加工 ϕ30mm 圆柱面
N135　G01　X46.0　Z－28.0；直线插补加工 ϕ58mm 右端面
N140　G03　X57.98　Z－34.01　R6.0；逆时针圆弧插补加工 $R6$mm 圆弧
N145　G03　X31.04　Z－61.04　R40.0；逆时针圆弧插补加工 $R40$mm 圆弧
N150　#101＝5.85；公式中的 Z 坐标值
N155　#102＝#101＊#101/10.0；公式中的 X 坐标值
N160　#103＝#101－67.0；工件坐标系中的 Z 坐标值
N165　#104＝#102＊2＋24.0；工件坐标系中的 X 坐标值
N170　G01　X#104　Z#103　F0.1；加工抛物线
N175　#101＝#101－0.1；Z 轴步进增量递减 0.1
N180　IF　[#101GE－12.65]　GOTO　155；如果#101 大于或等于－12.65，条件转移到 N155 程序段
N185　G40　G01　X62.0；取消刀尖圆弧半径左补偿，X 向退出
N190　G70　P095　Q185；调用精加工循环，精加工轮廓
N195　G00　X100.0　Z100.0　M09；快速返回程序起点，关闭切削液
N200　M05；主轴停止
N205　M30；主程序结束并返回程序起始段
O3001；抛物线形状轮廓余量切除子程序（略）
⋮
M99；子程序结束并返回主程序
（2）SINUMERIK 802D 数控系统

FZG241. MPF；右侧外轮廓加工程序名

N010　G18　G95　G97　G71　G54　G40；程度运行初始状态设置

N015　T1　D1；调用 1 号 90°外圆车刀

N020　M03　S680；主轴正转 680r/min

N025　G90　G00　X100　Z100　M07；刀具起刀点，打开切削液

N030　X58.5　Z2.0；刀具快速移到轴向切削起点

N035　G01　Z－79.5　F0.15；轴向切削加工 ϕ58.5mm 圆柱面

N040　G00　X100；刀具快速 X 向回退到程序起点

N045　Z100.0　M09；刀具快速 Z 向回退到程序起点，关闭切削液

N050　T2　D1；调用 2 号外切槽刀（刀头宽度 4mm）

N055　M03　S500；主轴正转，转速 500 r/min

N060　G00　X62　Z－50　M07；刀具快速移到循环起点，打开切削液

N065　CYCLE93（58.5，－52，12，12，5，48，27，0，0，0，0，0，0，4，0，5）；调用切槽循环加工

N070　G00　X100.0　Z100.0　M09；快速返回程序起点，关闭切削液

N075　T3　D1；调用 3 号 35°菱形精车刀

N080　M03　S800；主轴正转，转速 800 r/min

N085　G00　X62.0　Z2.0　M07；刀具快速移到循环起点，打开切削液

N090　CYCLE95（“FZG211”，1.0，0，0.5，，0.1，0.1，0.05，9，，，0.5）；毛坯切削循环加工抛物线

N095　G00　X100.0　Z100.0　M09；快速返回程序起点，关闭切削液

N100　M05；主轴停止

N105　M02；主程序结束并返回程序起始段

FZG211. SPF；精加工轮廓子程序

N010　G01　X20.0　Z0.0；直线插补至零件右端面

N015　X24.0　Z－2.0；直线插补加工 C2mm 倒角面

N020　Z－14.0；直线插补加工 ϕ24mm 圆柱面

N025　X20.0　Z－16.0；直线插补加工 C2mm 倒角面

N030　Z－20.0；直线插补加工 ϕ20mm 圆柱面

N035　X26.0；直线插补加工 ϕ30mm 右端面

N040　G03　X30.0　Z－23.0　CR＝3.0；逆时针圆弧插补加工 R3mm 圆弧

N045　G01　Z－28.0；直线插补加工 ϕ30mm 圆柱面

N050　G01　X46.0　Z－28.0；直线插补加工 ϕ58mm 右端面

N055　G03　X57.98　Z－34.01　CR＝6.0；逆时针圆弧插补加工 R6mm 圆弧

N060　G03　X31.04　Z－61.04　CR＝40.0；逆时针圆弧插补加工 R40mm 圆弧

N062　R1＝5.85；公式中的 Z 坐标值

N065　MARKE1：R2＝R1＊R1/10.0；公式中的 X 坐标值

N070　R3＝R1－67.0；工件坐标系中的 Z 坐标值

N075　R4＝R2＊2.0＋24.0；工件坐标系中的 X 坐标值

N080　G01　X = R4　Z = R3　F0. 1 ；加工抛物线

N085　R1 = R1 – 0. 10 ；Z 坐标增量为 0. 1mm

N090　IF　R1 > = – 12. 65　GOTOB　MARKE1；如果 R1 大于或等于 – 12. 5，则程序转到有标志符 MARKE1 的程序段

N095　G01　X62. 0 ；刀具退出

N100　RET ；子程序结束并返回主程序

（3）HNC—21/22M 华中世纪星数控系统

O × × × ×；文件名

% × × × ×；程序号

N010　G18　G99　G97　G21　G95　G54　G40；程度运行初始状态设置

N015　T0101；调用 1 号 90°外圆车刀

N020　M03　S680；主轴正转，转速 680 r/min

N025　G90　G00　X100. 0　Z100. 0　M08；刀具起刀点，打开切削液

N030　X62. 0　Z2. 0；刀具快速移到轴向切削循环指令（G80）起点

N035　G80　X58. 5　Z – 79. 5　F0. 15；轴向切削循环加工 ϕ58. 5mm 圆柱面

N040　G00　X100. 0　Z100. 0　M09；快速返回程序起点，关闭切削液

N045　T0202；调用 2 号外切槽刀（刀头宽度 4mm）

N050　M03　S500；主轴正转，转速 500 r/min

N055　G00　X62. 0　Z – 67. 0　M08；刀具快速移到切槽起点，打开切削液

N060　M98　P3001；调用切槽子程序

N065　G00　X100. 0　Z100. 0　M09；快速返回程序起点，关闭切削液

N070　T0303；调用 3 号 35°菱形精车刀

N075　M03　S800；主轴正转，转速 800 r/min

N080　G00　X62. 0　Z2. 0；刀具快速移到成形粗车循环起点

N085　G71　U1. 5　R1. 0　P95　Q190　X 0. 5　Z0　F0. 1；凹槽粗切循环加工，粗切量 1. 5mm，精切量 0. 5mm

N090　G00　X60. 0　Z2. 0；粗加工后，刀具快速移到成形精车循环起点

N095　G41　G01　X20. 0　Z0. 0　S1500　F0. 05；到精加工起始点，加入刀尖圆弧半径左补偿

N100　X24. 0　Z – 2. 0；直线插补加工 *C*2mm 倒角面（精车）

N105　Z – 14. 0；直线插补加工 ϕ24mm 圆柱面（精车）

N110　X20. 0　Z – 16. 0；直线插补加工 *C*2mm 倒角面（精车）

N115　Z – 20. 0；直线插补加工 ϕ20mm 圆柱面（精车）

N120　X26. 0；直线插补加工 ϕ30mm 右端面（精车）

N125　G03　X30. 0　Z – 23. 0　R3. 0；逆时针圆弧插补加工 *R*3mm 圆弧（精车）

N130　G01　Z – 28. 0；直线插补加工 ϕ30mm 圆柱面（精车）

N135　G01　X46. 0　Z – 28. 0；直线插补加工 ϕ58mm 右端面（精车）

N140　G03　X57. 98　Z – 34. 01　R6. 0；逆时针圆弧插补加工 *R*6mm 圆弧（精车）

N145　G03　X31. 04　Z – 61. 04　R40. 0；逆时针圆弧插补精车 *R*40mm 圆弧

N150　#101 = 5.85；公式中的 Z 坐标值
N155　WHILE　#101GE − 12.65；如果#101 小于 − 12.65，则跳转到 N180 程序段
N160　#102 = #101 * #101/10.0；公式中的 X 坐标值
N165　#103 = #101 − 67.0；工件坐标系中的 Z 坐标值
N170　#104 = #102 * 2 + 24.0；工件坐标系中的 X 坐标值
N175　G01　X#104　Z#103　F0.1；加工抛物线轮廓（精车）
N180　#101 = #101 − 0.1；Z 轴步进增量递减 0.1
N185　ENDW；循环结束，执行下条
N190　G40　G01　X62.0；取消刀尖圆弧半径左补偿，X 向退出
N195　G00　X100.0　Z100.0　M09；快速返回程序起点，关闭切削液
N200　M05；主轴停止
N205　M30；主程序结束并返回程序起始段
%3001；抛物线形状轮廓余量切除子程序（略）
⋮
M99；子程序结束，并返回主程序

实例 2

图 2-16 所示零件，毛坯为 ϕ60mm × 117mm 的 45 钢，试分析其加工工艺并编写其数控车加工程序。

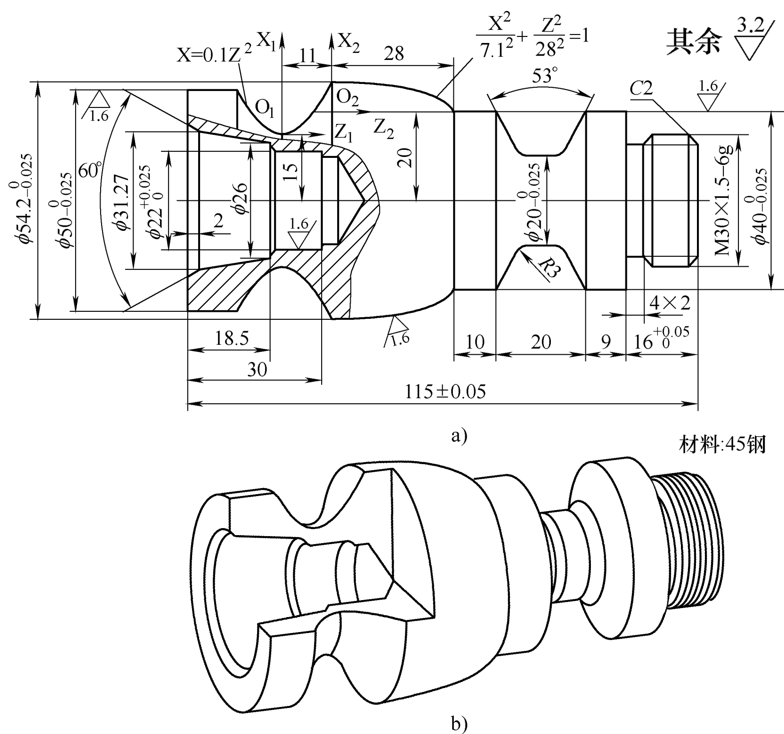


图 2-16　零件示意图

a）零件图　b）效果图

1. 工艺分析

该零件外表面由圆柱面、抛物线曲面、椭圆、V 形凹槽及螺纹等表面组成，内表面由圆锥面和圆柱面组成；其中多个直径尺寸有较严的尺寸精度和表面粗糙度等要求。

（1）编程与加工难点分析　该零件编程与加工难点在于抛物线与椭圆曲线组成的外轮廓编程与加工。编程时采用宏程序或参数进行编程。加工抛物线时，以 Z 坐标作为自变量，每次增量为 0.1mm，变化范围为 −11.0 ~ 10.0，根据公式 $X=0.1Z^2$ 计算出相应的 X 坐标。加工椭圆时，以角度作为自变量，每次增量为 1°，变化范围为 0° ~ 90°，通过参数方程公式计算相应的 X 和 Z 坐标。以上曲线编程过程中使用的基点坐标如图 2-17、图 2-18 所示。

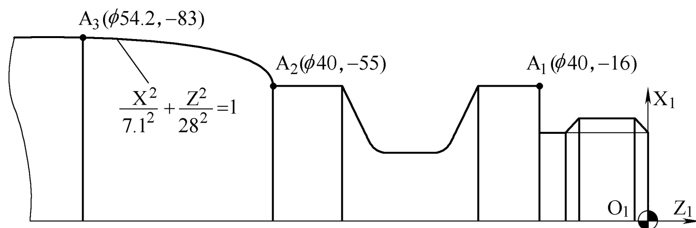


图 2-17　椭圆的基点坐标

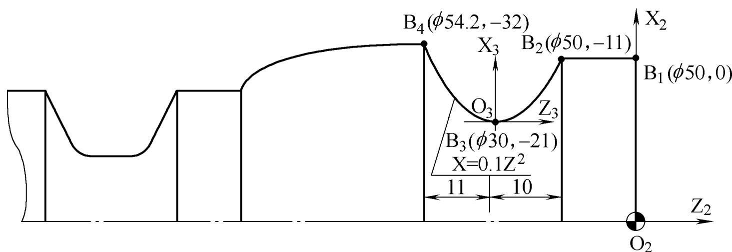


图 2-18　抛物线的基点坐标

由于抛物线的凹槽比较窄和深，且余量较多，在加工时应用轮廓循环指令切削余量时需多次分层切削。这将产生空走刀，因此，为了减少空走刀，先采用切槽循环切除凹余量，随后再应用轮廓循环加工，如图 2-19 所示。

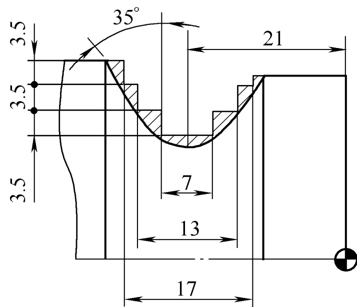


图 2-19　切槽尺寸

（2）加工方案　先粗加工零件右侧外圆和椭圆轮廓最大外径，再换刀粗、精切 V 形凹槽和螺纹槽；精车外圆和椭圆轮廓，保证尺寸精度和表面粗糙度；换螺纹刀车对 M30 × 1.5-6g 螺纹。然后调头以 $\phi40_{-0.025}^{\ 0}$ 圆柱面为装夹基准，车对总长，车削左侧内轮廓、外圆柱面，切抛物线凹槽余量，精车抛物线轮廓，保证各项尺寸精度、表面粗糙度和抛物线轮廓度。

2. 程序流程结构框图（略）

3. 外轮廓程序编制

选择车削过后的左、右端面回转中心作为工件坐标原点。选择的车削刀具：T01 为 90°外圆车刀；T02 为外切槽刀（刀头宽度 4mm）；T03 为 35°菱形车刀，刀具的主偏角取 93°；T04 为螺纹车刀。其加工程序如下：

（1）FANUC 0i 数控系统

1）右侧外轮廓程序。

```
O××××；加工右侧外圆及椭圆轮廓
N010 G18 G99 G97 G21 G95 G54 G40；程序运行初始状态设置
N015 T0101；调用 1 号 90°外圆车刀
N020 M03 S680；主轴正转，转速 680 r/min
N025 G90 G00 X100. Z100. M08；刀具快速移到起刀点，打开切削液
N030 X62.0 Z3.0；刀具快速移到轴向粗车循环指令起点
N035 G71 U3.0 R1.0；轴向粗车循环，X 向背吃刀量为 3mm
N040 G71 P045 Q110 U0.5 W0.0 F0.1；轴向粗车循环，精车余量 X 向
                                    0.5mm，Z 向 0
N045 G41 G00 X24.0 Z1.0；到加工起始点，加入刀尖圆弧半径左补偿
N050 G01 X29.8 Z-1.9 F0.5 S1500；车削螺纹起始端倒角 C2
N055 Z-16.0；车削 M30×1.5-6g 螺纹外径
N060 X40.0；车削 φ40 外圆右侧面
N065 Z-55.0；直线插补加工 φ40mm 外圆
N070 #101=0.0；椭圆参数方程中的参数（角度）赋初始值
N075 #102=7.1*SIN[#101]；椭圆参数方程中的椭圆 X 坐标值
N080 #103=28.0*COS[#101]；椭圆参数方程中的椭圆 Z 坐标值
N085 #104=#102*2+40.0；工件坐标系中的椭圆 X 坐标值
N090 #105=#103*2-83.0；工件坐标系中的椭圆 Z 坐标值
N095 G01 X#104 Z#105 F0.1；直线插补拟合加工椭圆轮廓
N100 #101=#101+1.0；角度增量为 1°
N105 IF [#101LE90.0] GOTO 075；如果#101 小于或等于 90，则程序跳转至
                                N075 程序段
N110 G40 G00 X55.0；取消刀尖圆弧半径左补偿，X 向退刀
N115 G00 X100.0 Z100.0 M09；刀具快速返回程序起点，关闭切削液
N120 T0202；调用 2 号切槽刀（刀头宽度 4mm）
N125 M03 S500；主轴正转，转速 500 r/min
N130 G00 X41.0 Z-16.0；刀具快速移到切割螺纹退刀槽起始点
N135 G01 X26.0 F0.1；切割螺纹退刀槽 4mm×2mm
N140 X32.0 Z-13.0；螺纹尾端倒角 C2mm
N145 G00 X45.0；刀具快速退回
N150 M98 P3002；调用 V 形凹槽切削子程序加工 V 形凹槽
```

N155　G00　X100.0　Z100.0　M09；刀具快速返回程序起点，关闭切削液
N160　T0303；调用3号35°菱形精车刀
N165　M03　S800；主轴正转，转速800 r/min
N170　G00　X62.0　Z3.0　M08；刀具快速移到成形精车循环起点
N175　G70　P045　Q110；调用精车循环，精车外圆和椭圆轮廓
N180　G00　X100.0　Z100.0　M09；快速返回程序起点，关闭切削液
N185　T0404；调用4号螺纹车刀
N190　M03　S560；主轴正转，转速560 r/min
N195　G00　X32.0　Z2.0；刀具快速移到螺纹循环加工起点
N200　G76　P010260　Q0.1　R0.2；加工右侧M30×1.5-6g外螺纹
N205　G76　X28.052　Z-12.0　P0.974　Q0.8　F1.5；螺纹牙型高度0.974mm，第1刀切入深度0.8mm
N210　G00　X100.0　Z100.0　M09；快速返回程序起点，关闭切削液
N215　M05；主轴停止
N220　M30；主程序结束并返回程序起始段
O3002；V形凹槽轮廓加工子程序（略）
⋮
M99；子程序结束并返回主程序

2）左侧外轮廓程序。

O××××；加工左侧$\phi50_{-0.025}^{\ 0}$mm外圆及抛物线轮廓
N010　G18　G99　G97　G21　G95　G54　G40；程序运行初始状态设置
N015　T0303；调用3号35°菱形精车刀
N020　M03　S800 ；主轴正转，转速800 r/min
N025　G90　G00　X100.0　Z100.0　M08 ；刀具起刀点，打开切削液
N030　X62.0　Z3.0；刀具快速移到轴向粗车循环指令起点
N035　G71　U1.0　R1.0；成形粗车循环X向背吃刀量1mm
N040　G71　P045　Q090　U0.5　W0.0　F0.1；成形粗车循环，精车余量X向0.5mm，Z向0
N045　G41　G00　X50.0　Z1.0；到加工起始点，加入刀尖圆弧半径左补偿
N050　G01　Z-11.0　S1500　F0.05；车削$\phi50_{-0.025}^{\ 0}$mm外圆
N055　#101=10.0；抛物线公式中的Z坐标值
N060　#101=#101-0.1；Z轴步进增量递减0.1
N065　#102=#101*#101/10.0；抛物线公式中的X坐标值
N070　#103=#102*2+30.0；工件坐标系中的抛物线曲线X坐标值
N075　#104=#101-21.0；工件坐标系中的抛物线曲线Z坐标值
N080　G01　X#103　Z#104　F0.1；直线插补，车削抛物线曲线
N085　IF　[#101GE-11.0]　GOTO　060；如果#101大于或等于-11.0，条件转移到N060程序段
N090　G40　G01　X55.0；取消刀尖圆弧半径左补偿，X向退出

N095 G70 P045 Q090；调用精加工循环，精加工轮廓
N100 G00 X100.0 Z100.0 M09；快速返回程序起点，关闭切削液
N105 M05；主轴停止
N110 M30；主程序结束并返回程序起始段

（2）SINUMERIK 802D 数控系统

1）右侧外轮廓程序。

FZG32.MPF；加工右侧外圆及椭圆轮廓
N010 G18 G95 G97 G71 G54 G40；程序运行初始状态设置
N015 T1 D1 ；调用1号90°外圆车刀
N020 M03 S680 ；主轴正转，转速680 r/min
N025 G90 G00 X100 Z100 M07；刀具快速移到起刀点，打开切削液
N030 X62.0 Z3.0 ；刀具快速移到轴向切削起点
N035 CYCLE95（“FZG312”，2.5，0，0.5，，0.1，0.1，0.05，9，，，0.5）；毛坯切削循环加工
N040 G00 X100 Z100.0 M09；快速返回程序起点，关闭切削液
N045 T2 D1；调用2号切槽刀（刀头宽度4mm）
N050 M03 S500；主轴正转，转速500 r/min
N055 CYCLE94（30.0，-16.0，“E”）；切削退刀槽4mm×2mm
N060 G90 G00 X42.0 Z-25.0 M07；刀具快速移到V形槽切削起点，打开切削液
N065 CYCLE93（40.0，-25.0，10.028，90，10，26.5，26.5，3，3，0，0，0.2，0.3，4，0，5）；调用切槽子程序
N070 G00 X100.0 Z100.0 M09；快速返回程序起点，关闭切削液
N075 T4 D1；调用4号螺纹车刀
N080 M03 S560；主轴正转，转速560 r/min
N185 G90 G00 X32.0 Z2.0 M07；刀具快速移到螺纹循环加工起点，打开切削液
N190 CYCLE97（1.5，，0，-14，0，20，0，20，0，2.0，2.0，0.975，0.05，30.0，，10，1.0，3，1）；加工右侧M30×1.5-6g外螺纹
N095 G00 X100.0 Z100.0 M09；快速返回程序起点，关闭切削液
N100 M05；主轴停止
N105 M02；主程序结束并返回程序起始段

FZG312.SPF；轮廓循环车削子程序
N10 G41 G00 X24.0 Z1.0；到加工起始点，加入刀尖圆弧半径左补偿
N15 G01 X29.8 Z-1.9 F0.5 S1500；车削螺纹起始端倒角 *C*2mm
N20 Z-16.0；车削M30×1.5-6g螺纹外径
N25 X40.0；车削右侧 ϕ40mm 外圆柱面
N30 Z-55.0；直线插补加工 ϕ40mm 外圆
N35 R101=0.0；椭圆参数方程中的参数（角度）赋初始值
N40 MARKE1：R102=7.1*SIN［R101］；椭圆参数方程中的椭圆X坐标值

N45　R103 = 28.0 * COS [R101]；椭圆参数方程中的椭圆 Z 坐标值
N50　R104 = R102 * 2 + 40.0；工件坐标系中的椭圆 X 坐标值
N55　R105 = R103 * 2 - 83.0；工件坐标系中的椭圆 Z 坐标值
N60　G01　X = R104　Z = R105　F0.1；直线插补拟合加工椭圆轮廓
N65　R101 = R101 + 1.0；角度增量为 1°
N70　IF　R101 < = 90.0　GOTOB　MARKE1；如果 R101 小于或等于 90，则程序跳转至有标志符 MARKE1 的 N40 程序段
N75　G40　G00　X55.0；取消刀尖圆弧半径左补偿，X 向退刀
N80　RET；

2）左侧外轮廓程序。

FZG32.MPF；左侧外轮廓加工程序名
N010　G18　G95　G97　G71　G54　G40；程序运行初始状态设置
N015　T3　D1；调用 3 号 35°菱形精车刀
N020　M03　S800；主轴正转，转速 800 r/min
N025　G90　G00　X62　Z3　M07；刀具快速移到循环起点，打开切削液
N030　CYCLE95（“FZG321”，1.0，0，0.5，，0.1，0.1，0.05，9，，，0.5）；毛坯切削循环加工抛物线
N035　G00　X100.0　Z100.0　M09；快速返回程序起点，关闭切削液
N040　M05；主轴停止
N045　M02；主程序结束并返回程序起始段
FZG321.SPF；加工轮廓子程序
N010　G41　G01　X50.0　Z1.0；到加工起始点，加入刀尖圆弧半径左补偿
N015　Z - 11.0；直线插补加工 ϕ50mm 外圆柱面
N020　R101 = 10.0；抛物线公式中的 Z 坐标值起始点
N025　MARKE1：R101 = R101 - 0.1；Z 坐标增量为 -0.1mm
N030　R102 = R110 * R101/10.0；抛物线公式中的 X 坐标值
N035　R103 = R102 * 2.0 + 30.0；工件坐标系中的 X 坐标值
N040　R104 = R110 - 11.0；工件坐标系中的 Z 坐标值
N045　G01　X = R103　Z = R104　F0.1；沿抛物线曲线轮廓直线插补
N050　IF　R110 > = -11.0　GOTOB　MARKE1；如果 R101 大于或等于 -11.0，则程序转移到标有标志符 MARKE1 的 N025 程序段
N055　G40　G01　X55.0；取消刀尖圆弧半径左补偿，刀具 X 向退出
N060　RET；子程序结束并返回主程序

（3）HNC—21/22M 华中世纪星数控系统

1）右侧外轮廓程序。

O××××；加工右侧外圆及椭圆轮廓文件名
%××××；程序号
N010　G18　G99　G97　G21　G95　G54　G40；程序运行初始状态设置

```
N015  T0101；调用 1 号 90°外圆车刀
N020  M03  S680；主轴正转，转速 680r/min
N025  G90  G00  X100.0  Z100.0  M08；刀具起刀点，打开切削液
N030  X62.0  Z3.0；刀具快速移到轴向粗车循环指令起点
N035  G71  U3.0  R1.0  P100  Q170  X0.5  Z0  F0.1；轴向粗车循环，X 向背吃
                                                     刀量为 3mm，精车余量 X
                                                     向 0.5mm，Z 向 0
N040  G00  X100.0  Z100.0  M09 ；刀具快速返回程序起点，关闭切削液
N045  T0202；调用 2 号切槽刀（刀头宽度 4mm）
N050  M03  S500；主轴正转，转速 500 r/min
N055  G00  X41.0  Z-16.0；刀具快速移到切割螺纹退刀槽起始点
N060  G01  X26.0  F0.1；切割螺纹退刀槽 4mm×2mm
N065  X32.0  Z-13.0；螺纹尾端倒角 C2mm
N070  G00  X45.0；刀具快速退回
N075  M98  P3002；调用 V 形凹槽切削子程序加工 V 形凹槽
N080  G00  X100.0  Z100.0  M09 ；刀具快速返回程序起点，关闭切削液
N085  T0303；调用 3 号 35°菱形精车刀
N090  M03  S800；主轴正转，转速 800 r/min
N095  G00  X62.0  Z3.0  M08；刀具快速移到成形精车循环起点
N100  G41  G00  X24.0  Z1.0；到精加工起始点，加入刀尖圆弧半径左补偿
N105  G01  X29.8  Z-1.9  F0.5  S1500；车削螺纹起始端倒角 C2mm
N110  Z-16.0；车削 M30×1.5-6g 螺纹外径
N115  X40.0；车削右侧 φ40mm 外圆柱面
N120  Z-55.0；直线插补加工 φ40mm 外圆
N125  #101=0.0；椭圆参数方程中的参数（角度）赋初始值
N130  WHILE  #101LE90.0；如果#101 大于 90，则程序跳转至 N170 程序段
N135  #102=7.1*SIN[#101*PI/180]；椭圆参数方程中的 X 坐标值
N140  #103=28.0*COS[#101*PI/180]；椭圆参数方程中的 Z 坐标值
N145  #104=#102*2+40.0；工件坐标系中的椭圆 X 坐标值
N150  #105=#103*2-83.0；工件坐标系中的椭圆 Z 坐标值
N155  G01  X[#104]  Z[#105]  F0.1；直线插补拟合加工椭圆轮廓
N160  #101=#101+1；角度增量为 1°
N165  ENDW；循环结束，执行下条语句
N170  G40  G00  X55.0；取消刀尖圆弧半径左补偿，X 向退刀
N175  G00  X100.0  Z100.0  M09；快速返回程序起点，关闭切削液
N180  T0404；调用 4 号螺纹车刀
N185  M03  S560；主轴正转，转速 560 r/min
N190  G00  X32.0  Z2.0；刀具快速移到螺纹循环加工起点
N195  G76  C1  R-2  E2  A60  X28.052  Z-12.0  K0.974  U0.1  V0.2  Q0.8
```

F1.5；加工右侧 M30×1.5-6g 外螺纹，螺纹牙型高度 0.974mm，第 1 刀切入深度 0.8mm
N200　G00　X100.0　Z100.0　M09；快速返回程序起点，关闭切削液
N205　M05；主轴停止
N210　M30；主程序结束并返回程序起始段
O3002；V 形凹槽轮廓加工子程序（略）
⋮
M99；子程序结束，并返回主程序

2）左侧外轮廓程序。

O××××；加工左侧 $\phi50_{-0.025}^{0}$mm 外圆及抛物线轮廓程序文件名
%××××；程序号
N010　G18　G99　G97　G21　G95　G54　G40；程序运行初始状态设置
N015　T0303 ；调用 3 号 35°菱形精车刀
N020　M03　S800；主轴正转，转速 800 r/min
N025　G90　G00　X100.0　Z100.0　M08；刀具起刀点，打开切削液
N030　X62.0　Z3.0；刀具快速移到轴向粗车循环指令起点
N035　G71　U1.0　R1.0　P045　Q095　X0.3　Z0　F0.1；轴向粗车循环，X 向背吃刀量为 1mm，精车余量 0.3mm
N040　G00　X60.0　Z3.0；刀具快速移到成形精车循环起点
N045　G41　G00　X50.0　Z1.0；到精加工起始点，加入刀尖圆弧半径左补偿
N050　G01　Z-11.0　S1500　F0.05；直线插补至零件左端面
N055　#101=10.0；公式中的 Z 坐标值
N060　WHIGE　#101GE-11.0；如果#101 小于-11.0，条件转移到 N095 程序段
N065　#101=#101-0.1；抛物线公式中的 Z 轴步进增量递减 0.1mm
N070　#102=#101*#101/10.0；抛物线公式中的 X 坐标值
N075　#103=#101-21.0；工件坐标系中的抛物线曲线 Z 坐标值
N080　#104=#102*2+30.0；工件坐标系中的抛物线曲线 X 坐标值
N085　G01　X［#104］　Z［#103］　F0.1；直线插补，车削抛物线轮廓
N090　ENDW；循环结束，执行下条语句
N095　G40　G01　X55.0；取消刀尖圆弧半径左补偿，X 向退出
N100　G00　X100.0　Z100.0　M09；快速返回程序起点，关闭切削液
N115　M05；主轴停止
N120　M30；主程序结束并返回程序起始段

实例 3

图 2-20 所示零件，毛坯为 ϕ50mm×75mm 的 45 钢，试分析其加工工艺并编写其数控车加工程序。

1. 工艺分析

该零件外表面由圆柱面、椭圆面、正弦曲线曲面及圆锥面等表面组成，内表面由圆柱面

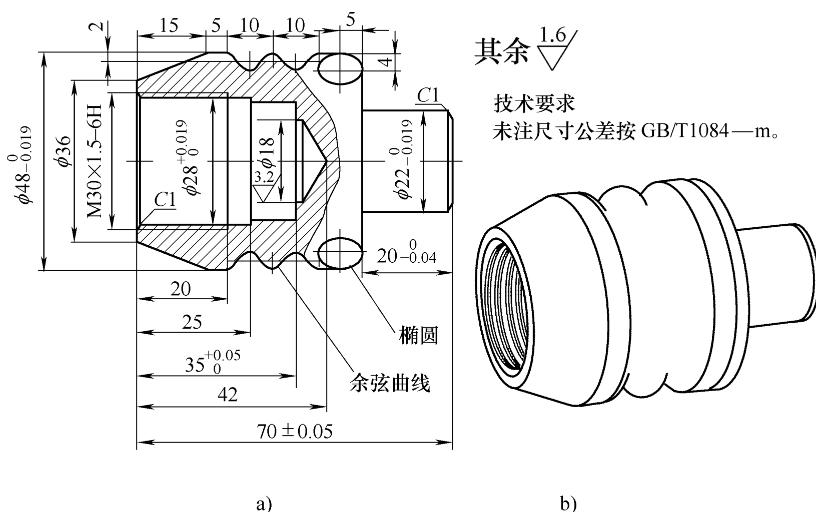


图 2-20　零件示意图

a）零件图　b）效果图

和螺纹组成；其中多个直径尺寸有较严的尺寸精度和表面粗糙度等要求。

（1）编程与加工难点分析　该零件编程与加工难点在于椭圆与正弦曲线的编程与加工。编程时采用宏程序或参数进行编程。椭圆编程时，通过椭圆的参数方程：X = aCOSα、Z = bSINα，以角度作为自变量，每次增量为 1°，变化范围为 0° ~90°，通过参数方程公式计算相应的 X 和 Z 坐标。余弦曲线编程时，通过余弦的曲线方程 Z（t） = t 、X（t） = 2COS（360t/90），以 Z 坐标作为自变量，每次增量为 0.1mm，变化范围为 0 ~20.0，根据公式 X（t）=2COS(360t/90）计算出相应的 X 坐标。

（2）加工方案　先加工零件右侧 $\phi22^{\ 0}_{-0.019}$mm 外圆、椭圆弧及 $\phi48^{\ 0}_{-0.019}$mm 外圆轮廓，保证尺寸精度和表面粗糙度；然后调头以 $\phi22^{\ 0}_{-0.019}$mm 外圆为定位基准装夹，车对总长（75 ±0.05）mm，加工内轮廓、圆锥、余弦曲线轮廓，保证各项尺寸精度和余弦曲线轮廓度及表面粗糙度。

2. 程序流程结构框图（略）

3. 外轮廓程序编制

选择车削过后的左、右端面回转中心作为工件坐标原点。选择的车削刀具：T01 为 90°外圆车刀；T02 为 35°菱形车刀，刀具的主偏角取 93°；T03 为 ϕ18mm 麻花钻；T04 为内孔镗刀；T05 为内螺纹车刀。其加工程序如下：

（1）FANUC 0i 数控系统

1）右侧外轮廓程序。

O××××；主程序名

N010　G18　G99　G97　G21　G95　G54　G40；程序运行初始状态设置

N015　T0101；调用 1 号 90°外圆车刀

N020　M03　S680；主轴正转，转速 680 r/min

N025　G90　G00　X100.0　Z100.0　M08；刀具起刀点，打开切削液
N030　X52.0　Z2.0；刀具快速移到轴向切削循环指令起点
N035　G71　U3.0　R1.0；轴向粗车循环，X 向背吃刀量为 3mm
N040　G71　P045　Q100　U0.5　W0.0　F0.1；轴向粗车循环，精车余量 X 向 0.5mm，Z 向 0
N045　G41　G00　X20.0　Z1.0；到加工始点，加入刀尖圆弧半径左补偿
N050　G01　X22.0　Z－1.0　F0.5　S1500；车削 $\phi 22_{-0.019}^{0}$ 外圆倒角 $C1$mm
N055　Z－20.0；车对 $\phi 22_{-0.019}^{0} \times 20_{-0.04}^{0}$ 外圆柱面
N060　#101＝0.0；椭圆参数方程中的参数（角度）赋初始值
N065　#102＝4.0 * SIN［#101］；椭圆参数方程中的椭圆 X 坐标值
N070　#103＝5.0 * COS［#101］；椭圆参数方程中的椭圆 Z 坐标值
N075　#104＝#102 * 2＋40.0；工件坐标系中的椭圆 X 坐标值
N080　#105＝#103 * 2－25.0；工件坐标系中的椭圆 Z 坐标值
N085　G01　X#104　Z#105　F0.1；直线插补拟合加工椭圆轮廓
N090　#101＝#101＋1；角度增量递增 1°
N090　IF　［#101LE90.0］　GOTO　065；如果#101 小于或等于 90，则程序跳转至 N065 程序段
N095　Z－35.0；直线插补，车削 $\phi 48_{-0.019}^{0}$mm 外圆轮廓
N100　G40　G00　X55.0；取消刀尖圆弧半径左补偿，X 向退刀
N105　G70　P045　Q100；精车削右侧各级轮廓表面
N110　G00　X100.0　Z100.0　M09；刀具快速返回程序起点，关闭切削液
N115　M05；主轴停止
N120　M30；主程序结束并返回程序起始段

2）左侧外轮廓程序。

O××××；主程序名
N010　G18　G99　G97　G21　G95　G54　G40；程序运行初始状态设置
N015　T0202；调用 2 号 35°菱形精车刀
N020　M03　S800；主轴正转，转速 800 r/min
N025　G90　G00　X100.0　Z100.0　M08；刀具起刀点，打开切削液
N030　X52.0　Z2.0；刀具快速移到轴向切削循环指令起点
N035　G73　U1.5　W0　R3.0；成形粗车循环 X 向退 5mm，粗车循环 5 次
N040　G73　P045　Q100　U0.3　W0.0　F0.1；成形粗车循环，精车余量 X 向 0.5mm，Z 向 0
N045　G41　G00　X36.0　Z1.0　S1500　F0.05；到加工起始点，加入刀尖圆弧半径左补偿
N050　G01　Z0.0；刀具直线插补至工件左端面
N055　X48.0　Z－15.0；直线插补，车削圆锥表面
N060　#101＝0；余弦曲线公式中的 Z 坐标初始值
N065　#102＝2 * COS［360 * #101 /90］；余弦曲线公式中的 X 坐标值

N070 #103 = #102 * 2 + 44.0；工件坐标系中余弦曲线轮廓的 X 坐标值

N075 #104 = #101 - 20.0；工件坐标系中余弦曲线轮廓的 Z 坐标值

N080 G01 X#103 Z#104；直线插补，拟合车削余弦曲线轮廓

N085 #101 = #101 + 0.1；Z 坐标值增量递增 0.1mm

N090 IF [#101LE20.0] GOTO 065；如果#101 小于等于 20，则程序转移到 N065 程序段

N095 Z - 51.0；直线插补，车削 $\phi48^{0}_{-0.019}$mm 外圆轮廓

N100 G40 G00 X55.0；取消刀尖圆弧半径左补偿，X 向退刀

N105 G70 P045 Q100；精车削左侧各级轮廓表面

N110 G00 X100.0 Z100.0 M09；刀具快速返回程序起点，关闭切削液

N115 M05；主轴停止

N120 M30；主程序结束并返回程序起始段

（2）SINUMERIK 802D 数控系统

1）右侧外轮廓程序。

FZG32.MPF；加工右侧外圆及椭圆轮廓

N010 G18 G95 G97 G71 G54 G40；程序运行初始状态设置

N015 T1 D1；调用 1 号 90°外圆车刀

N020 M03 S680；主轴正转，转速 680 r/min

N025 G90 G00 X100.0 Z100.0 M07；刀具起刀点，打开切削液

N030 X52.0 Z2.0；刀具快速移到轴向切削循环指令起点

N035 CYCLE95（“FZG322”，2.5，0，0.5，，0.1，0.1，0.05，9，，，0.5）；毛坯切削循环加工

N040 G00 X100.0 Z100.0 M09；刀具快速返回程序起点，关闭切削液

N045 M05；主轴停止

N050 M02；主程序结束并返回程序起始段

FZG322.SPF；右侧外圆及椭圆轮廓精车削子程序名

N010 G41 G00 X20.0 Z1.0；到加工起始点，加入刀尖圆弧半径左补偿

N015 G01 X22.0 Z - 1.0 F0.5 S1500；车削 $\phi22^{0}_{-0.019}$外圆倒角 $C1$mm

N020 Z - 20.0；车对 $\phi22^{0}_{-0.019} \times 20^{0}_{-0.04}$外圆柱面

N025 R101 = 0.0；椭圆参数方程中的参数（角度）赋初始值

N030 MARKE1：R102 = 4.0 * SIN [R101]；椭圆参数方程中的椭圆 X 坐标值

N035 R103 = 5.0 * COS [R101]；椭圆参数方程中的椭圆 Z 坐标值

N040 R104 = R102 * 2 + 40.0；工件坐标系中的椭圆 X 坐标值

N045 R105 = R103 * 2 - 25.0；工件坐标系中的椭圆 Z 坐标值

N050 G01 X = R104 Z = R105 F0.1；直线插补，拟合车削椭圆轮廓

N055 R101 = R101 + 1；角度增量递增 1°

N060 IF R101 < = 90.0 GOTOB MARKE1；如果 R101 小于或等于 90，则程序跳转至 N030 程序段

N060　Z－35.0；直线插补，车削 $\phi48_{-0.019}^{0}$mm 外圆轮廓
N065　G40　G00　X55.0；取消刀尖圆弧半径左补偿，X 向退刀
N070　RET；子程序结束并返回主程序

2）左侧外轮廓程序。

FZG33.MPF；加工左侧外圆及余弦曲线轮廓
N010　G18　G95　G97　G71　G54　G40；程序运行初始状态设置
N015　T2　D1 ；调用 2 号 35°菱形精车刀
N020　M03　S800；主轴正转，转速 800 r/min
N025　G90　G00　X100.0　Z100.0　M07；刀具起刀点，打开切削液
N030　X52.0　Z2.0；刀具快速移到轴向切削循环指令起点
N035　CYCLE95（“FZG331”，2.5，0，0.5，，0.1，0.1，0.05，9，，，0.5）；毛坯切削循环加工
N110　G00　X100.0　Z100.0　M09 ；刀具快速返回程序起点，关闭切削液
N115　M05；主轴停止
N120　M02；主程序结束并返回程序起始段
FZG331.SPF；循环子程序
N045　G41　G00　X36.0　Z1.0；到加工起始点，加入刀尖圆弧半径左补偿
N050　Z0.0；刀具直线插补至工件右端面
N055　X48.0　Z－15.0；直线插补，车削圆锥表面
N060　R101＝0；余弦公式中的 Z 起点坐标
N065　MARKE1：R102＝2＊COS［360＊R101/90］；余弦公式中的 X 起点坐标
N070　R103＝R102＊2＋44.0；工件坐标系中余弦曲线的 X 坐标值
N075　R104＝R101－20.0；工件坐标系中余弦曲线的 Z 坐标值
N080　G01　X＝R103　Z＝R104；直线插补，拟合车削余弦曲线轮廓
N085　R101＝R101＋0.1；Z 坐标值增量递增 0.1mm
N090　IF　R101＜＝20.0　GOTOB　MARKE1；如果 R101 小于或等于 20，则程序条件转移到具有标志符 MARKE1 的程序段
N095　Z－51.0；直线插补，车削加工 ϕ50mm 外圆
N100　G40　G00　X55.0；取消刀尖圆弧半径左补偿，X 向快速退刀
N105　RET；子程序结束并返回主程序

（3）HNC—21/22M 华中世纪星数控系统

1）右侧外轮廓程序。

O××××；加工右侧外圆及椭圆轮廓文件名
%××××；程序号
N010　G18　G99　G97　G21　G95　G54　G40；程序运行初始状态设置
N015　T0101；调用 1 号 90°外圆车刀
N020　M03　S680；主轴正转，转速 680r/min
N025　G90　G00　X100.0　Z100.0　M08；刀具起刀点，打开切削液
N030　X52.0　Z2.0；刀具快速移到轴向切削循环指令起点

N035 G71 U3.0 R1.0 P045 Q110 E0.3 F0.1；轴向粗车循环，X 向背吃刀量为 3mm，轴向粗车循环，精车余量 0.3mm
N040 G00 X52.0 Z2.0；刀具快速移到轴向切削循环指令精加工起点
N045 G41 G00 X20.0 Z1.0；到精加工起始点，加入刀尖圆弧半径左补偿
N050 G01 X22.0 Z－1.0 F0.5 S1500；车削 $\phi22^{0}_{-0.019}$外圆倒角 $C1$mm
N055 Z－20.0；车对 $\phi22^{0}_{-0.019}\times20^{0}_{-0.04}$外圆柱面
N060 #101＝0.0；椭圆参数方程中的参数（角度）赋初始值
N065 WHILE #101LE90.0；如果#101 大于 90，则程序跳转至 N105 程序段
N070 #102＝4.0＊SIN［#101＊PI/180］；椭圆参数方程中的 X 坐标值
N075 #103＝5.0＊COS［#101＊PI/180］；椭圆参数方程中的 Z 坐标值
N080 #104＝#102＊2＋40.0；工件坐标系中椭圆曲线上的 X 坐标值
N085 #105＝#103＊2－25.0；工件坐标系中椭圆曲线上的 Z 坐标值
N090 G01 X［#104］ Z［#105］ F0.1；直线插补，拟合车削椭圆轮廓
N095 #101＝#101＋1；角度增量递增 1°
N100 ENDW；循环结束，执行下条语句
N105 Z－35.0；直线插补，车削 $\phi48^{0}_{-0.019}$mm 外圆
N110 G40 G00 X55.0；取消刀尖圆弧半径左补偿，X 向退刀
N115 G00 X100.0 Z100.0 M09 ；刀具快速返回程序起点，关闭切削液
N120 M05；主轴停止
N125 M30；主程序结束并返回程序起始段

2）左侧外轮廓程序。

O××××；加工左侧外圆及余弦曲线轮廓文件名
%××××；程序号
N010 G18 G99 G97 G21 G95 G54 G40；程序运行初始状态设置
N015 T0202；调用 2 号 35°菱形精车刀
N020 M03 S800；主轴正转，转速 800 r/min
N025 G90 G00 X100.0 Z100.0 M08；刀具起刀点，打开切削液
N030 X52.0 Z2.0；刀具快速移到轴向切削循环指令起点
N035 G71 U1.5 R1.0 P045 Q105 X0.3 Z0 F0.1；轴向粗车循环，X 向背吃刀量为 3mm，轴向粗车循环，精车余量 0.3mm
N040 G00 X52.0 Z2.0；刀具快速移到轴向切削循环指令精加工起点
N045 G41 G00 X36.0 Z1.0 S1500 F0.05；到精加工始点，加入刀尖圆弧半径左补偿
N050 Z0.0；刀具直线插补至工件左端面
N055 X48.0 Z－15.0；直线插补，车削圆锥表面
N060 #101＝0；余弦曲线公式中的 Z 坐标初始值
N065 WHILE #101LE20.0；如果#101 大于 20，则程序跳转到 N100 程序段

N070　#102 = 2 * COS [360 * #101 * PI/90]；余弦曲线公式中的 X 坐标值
N075　#103 = #102 * 2 + 44.0；工件坐标系中余弦曲线轮廓的 X 坐标值
N080　#104 = #101 - 20.0；工件坐标系中余弦曲线轮廓的 Z 坐标值
N085　G01　X [#103]　Z [#104]；直线插补，拟合车削余弦曲线轮廓
N090　#101 = #101 + 0.1；Z 坐标值增量递增 0.1mm
N095　ENDW；循环结束，执行下条语句
N100　Z - 51.0；直线插补，车削 $\phi 48_{-0.019}^{0}$mm 外圆轮廓
N105　G40　G00　X55.0；取消刀尖圆弧半径左补偿，X 向退刀
N110　G00　X100.0　Z100.0　M09；刀具快速返回程序起点，关闭切削液
N115　M05；主轴停止
N120　M30；主程序结束并返回程序起始段

第3章　数控铣床、加工中心的宏程序编程

3.1　数控铣床、加工中心宏程序编程特征

在数控加工中，经常需要对加工零件某一部分的形状反复进行切削，这时候使用子程序编程效果比较好，它可以缩短程序编制时间，清晰明了，同时占用的存储器内存也小；但是，对于不同零件、不同部分，且具有相似形状的零件，子程序的通用性就差了；而宏程序不仅具有子程序所有的特点，并且它的最大优点是通用性强。宏程序的最大编程特征主要有以下几个方面：

1）可以在宏程序主体中使用变量。

2）可以进行变量之间的演算。

3）可以用宏程序指令对变量进行赋值。

3.1.1　在宏程序主体中使用变量

在一般的加工程序中，G代码移动距离可以直接用数值指令，如G00　X100.0。但在用户宏程序中，数值可以直接指定，也可以用变量号指定。因此，变量是指可以在宏主体的地址上代替具体数值，在调用宏主体时再用引数进行赋值的符号，例如#i(i=1,2,3,…)。使用变量可以使宏程序具有通用性。宏主体中可以使用多个变量，以变量号码进行识别。

1. 变量形式

变量是用符号#或R后面加上变量号码所构成的，即#i或R i(i=1,2,3,…)，例如：#5或R5、#109. 或R109；也可以用公式的形式指令，但此时必须用括号把公式括起来，即#[表达式] 或R [表达式]。例如：#[#1+#2-12]或R[R1+R2-12]。

2. 变量的引用

在程序内引用变量时，是在地址符后指定变量号。例如：F#33，当#33=1.5时，与F1.5相同；Z-#18，当#18=20.0时，与Z-20.0指令相同。

用公式指定时，在公式的前、后要加上括号。例如：G01　X[#1+#2]　F#3。

注意：

1）作为地址符的O、N、/等，不能引用变量。例如：O#27、N#1等都是错误的。

2）用程序定义变量值时，可以省略小数点。没有小数点变量的数值单位为各地址字的最小设定单位。因此，传递没有小数点的变量，将会因机床的系统设置不同而发生变化。在宏程序调用中使用小数点可以提高程序的兼容性。

3）被引用的变量值按各地址的最小设定单位进行四舍五入。例如：对于最小设定单位为1/1000的CNC，当#1为12.3456，若执行G00　X#1，相当于G00　X12.346；若要改变变量值的符号引用时，要在“#”符号前加上“-”号，例如：G00　X-#1。

3. 未定义变量

在 FANUC 0i 数控系统中，#0 通常为空变量，即没有定义变量值的状态。此状态可以读取但不能写入。空变量不等于变量值为 0 的状态。

注意：

1）引用未定义变量时，连同地址字无效。例如：#1 为 0、#2 为 <空>时，若执行 G00 X#1　Z#2 时，为 G00　X0。

2）在运算式中，除了被 <空> 置换的场合以外，未定义变量与数值 0 相同。

3）在等于或不等于这些条件的比较式中，<空>与零不同。例如：#1 = <空>、#2 = 100、#3 = 50，若执行#3 = #1 + #2 以后，#3 = 100。

4. 变量的种类

按变量号码可将变量分为局部变量、公共变量、系统变量，其用途和性质都不同，见表 3-1。

表 3-1　变量的种类和功能

变　量　号			变量种类	功　　能
HNC—21/22M	SINUMERIK 802D	FANUC 0i		
		#0	通常为空	该变量总为“空”，没有值能赋给该变量（仅 FANUC 系统有）
#0 ~ #49 #200 ~ #599 ⋮	R0 ~ R99 R100 ~ R249	#1 ~ #33	局部（自）变量或 R 参数	各宏程序可独自使用，保存计算结果。关电源时进行初始化，变量值为空。调用宏程序时，代入变量值
#50 ~ #199	R100 ~ R249 （加工循环传递参数）	#100 ~ #149 #500 ~ #531	公共变量（全局变量）	在不同的宏程序之间可以公共使用的变量。当关电源时，#100 ~ #149 变量初始化为空变量，#500 ~ #531变量仍保存原有数据
#600 ~	R250 ~ R299	#1000 ~	系统变量	进行读取、写入当前位置、刀具补偿量等 NC 各种数据的变量

（1）局部变量（自变量）　所谓局部（自变量）变量就是在宏程序中局部使用的变量。换句话说，在某一时刻调出的宏程序中所使用的局部变量#1 和另一时刻调用的宏程序（无论与前一个宏程序相同还是不同）中所使用的#1 是不同的。因此，在多重调用时，当宏指令地址 A 调用宏指令地址 B 的情况下，也不会将 A 中的变量破坏。

（2）公共变量（全局变量）　与局部变量相反，公共变量（全局变量）是在主程序以及调用的子程序中通用的变量。因此，在某个宏程序中运算得到的公共变量（全局变量）的结果#i 可以用到别的用户宏程序中。

（3）系统变量　系统变量是根据用途而被固定的变量。

在宏程序中要改变某些模态信息，可以先保存进入时的模态信息，结束时再恢复状态。这样可以使数控系统保持该宏程序运行前后模态信息的一致。这样的宏程序具有很好的安全性，即使不是该宏程序的编写者也可以放心地使用。

3.1.2　变量之间的演算

宏程序的运算指令类似于数学运算，它包括算术运算指令、逻辑运算指令、函数运算指

令、控制转移指令等。

1. 运算指令

常见的运算指令见表 3-2。

表 3-2　运 算 指 令

功　　能	格　　式		注　　释
	变量符号(#)	参数符号(R)	
定义、转换	#i = #j	Ri = Rj	#1 = #2，R1 = R2
加法	#i = #j + #k	Ri = Rj + Rk	#1 = #2 + #3
减法	#i = #j − #k	Ri = Rj − Rk	R1 = R2 − R3
乘法	#i = #j * #k	Ri = Rj * Rk	#1 = #2 * #3
除法	#i = #j/#k	Ri = Rj/Rk	R1 = R2/R3
正弦	#i = SIN[#j]	Ri = SIN(Rj)	R1 = SIN[R2]
反正弦	#i = ASIN[#j]	Ri = ASIN(Rj)	R1 = ASIN[R2]
余弦	#i = COS[#j]	Ri = COS(Rj)	#1 = COS[#2]
反余弦	#i = ACOS[#j]	Ri = ASCOS(Rj)	#1 = ASCOS[#2]
正切	#i = TAN[#j]	Ri = TAN(Rj)	R1 = TAN[R2]
反正切	#i = ATAN[#j]/[#k]	Ri = ATAN2(Rj)	R1 = ATAN2[R2]
平方根	#i = SQRT[#j]	Ri = SQRT(Rj)	#1 = SQRT[#5]
平方值		Ri = POT(Rj)	R1 = POT[R2]
绝对值	#i = ABS[#j]	Ri = ABS(Rj)	#1 = ABS[#2]
舍入	#i = ROUND[#j]	Ri = ROUND(Rj)	R1 = ROUND(R2)
上取整	#i = FIX[#j]	Ri = TRUNC(Rj)	#1 = FIX[#2]
下取整	#i = FUP[#j]		
自然对数	#i = LN[#j]		#1 = LN[#2]
指数函数	#i = EXP[#j]	Ri = EXP[Rj]	#1 = EXP[#2]
或(OR)	#i = #jOR#k	Ri = Rj OR Rk	
异或(XOR)	#i = #jXOR#k	Ri = RjXORRk	
与(AND)	#i = #jAND#k	Ri = Rj AND Rk	
非(NOT)		Ri = Rj NOT Rk	
从 BCD 码转换成 BIN 码	#i = BIN[#j]	Ri = BIN[Rj]	
将 BIN 码转换成 BCD 码	#i = BCD[#j]	Ri = BCD[Rj]	

（1）运算的优先级　宏程序数学运算的优先次序为：函数（SIN、COS、ATAN 等）→乘、除类运算（*、÷、AND 等）→加、减类运算（+、−、OR、XOR 等）。

例如：#1 = #2 + #3 * SIN[#4]或 R1 = R2 + R3 * SIN[R4]；运算顺序为：函数 SIN [#4]→乘#3 * … → 加#2 + …。

（2）括号的嵌套　当要变更运算的优先顺序时，使用括号。包括函数的括号在内，括号最多可用到 5 重，超过 5 重时则出现报警。

例如：#1 = SIN[[[#2 + #3] * #4 + #5] * #6]。

（3）角度单位　在 FANUC 数控系统和 SIEMENS 数控系统中，角度以度（°）为单位，如：90°30′表示成 90.5°；而在 HNC—21/22M 数控系统中角度以弧度（rad）为单位，因此在进行三角函数运算时，应将角度转换为弧度，如计算正弦 30°的值，应书写成 SIN[30*PI/180](PI=π)。

2. 控制语句

在程序中使用 GOTO、IF 语句（条件转移，如果…）、WHILE 语句（循环，当…）。

（1）HNC—21/22M 数控系统

1）条件判别语句：IF ELSE ENDIF。

格式（i）：IF 条件表达式
```
        …      条件成立（真）
        ELSE
        …      条件不成立（假）
        ENDIF
```
格式（ii）：IF 条件表达式
```
        …      条件成立（真）
        ENDIF
```
2）循环语句：WHILE ENDW。

格式：WHILE 条件表达式
```
    …      条件成立（真）
    ENDW
```
（2）SIEMENS 数控系统

1）绝对跳转。

指令格式：GOTOF Label（标记符）　　;向前跳转

　　　　　GOTOB Label（标记符）　　;向后跳转

指　令	说　明
GOTOF	向前跳转（向程序结束的方向跳转）
GOTOB	向后跳转（向程序开始的方向跳转）
Label	所选的标记符

2）有条件跳转。

指令格式：IF 条件 GOTOF　Label　　;向前跳转

　　　　　IF 条件 GOTOB　Label　　;向后跳转

指　令	说　明
GOTOF	向前跳转（向程序结束的方向跳转）
GOTOB	向后跳转（向程序开始的方向跳转）
Label	所选的标记符
IF	跳转条件导入符
条件	作为条件的计算参数，计算表达式

（3）FANUC 数控系统

1）无条件转移（GOTO 语句）：无条件转移到顺序号为 n 的程序段。

指令格式：GOTO n；

其中：n 为顺序号，可取 1 ~ 99999；顺序号也可用表达式表示。

例：GOTO 1；

GOTO #10；

2）条件转移（IF 语句）：IF 后面是条件式，如果条件成立，则转移到顺序号为 n 的程序段语句，否则，执行下一个程序段。

例如：如果#1 值比 10 大，则转移到顺序号 N60 的程序段。

指令格式：IF［#1GT 10］GOTO 60；

条件不成立→按程序顺序执行；条件成立→执行 N60 程序段。

说明：

a）条件式是在比较的两个变量之间，或一个常量与一个变量之间，写上比较运算符，然后再用方括号［］全部括起来而构成的。不用变量，也可用运算式。

b）运算符由两个英文字母构成，用来判断大、小或相等，见表 3-3。

表 3-3 条件表达式种类

条件表达式		含义	具体示例
HNC—21/22M、FANUC 0i	SINUMERIK 802D		
EQ	==	等于	IF[#11EQ#20]GOTO 65
NE	< >	不等于	IF[#11NE#20]GOTO 90
GT	>	大于	IF R11 > R20 GOTOB MARKE1
GE	>=	大于或等于	IF #11GE#20
LT	<	小于	IF R11 < R20 GOTOF MARKE2
LE	<=	小于或等于	IF #11LE#20

例：编写求 1 ~ 10 之和的数控程序。

用 FANUC 0i 和 SIEMENS 系统编程，为

程序		说明
FANUC 0i	SINUMERIK 802D	
O3200；	FZG32；	宏程序号（名）
N10 #1 = 0；	N10 R1 = 0；	结果的初值
N20 #2 = 1；	N20 R2 = 1；	加数的初值
N30 IF[#2GT10] GOTO70；	N30 MARKE1： IF R2 > 10 GOTOF MARKE2；	若加数大于 10，则转移到 N70 程序段
N40 #1 = #1 + #2；	N40 R1 = R1 + R2；	计算结果
N50 #2 = #2 + 1；	N50 R2 = R2 + 1；	下一个加数
N60 GOTO 30；	N60 GOTOB MARKE1；	无条件转移到 N30
N70 M30；	N70 MARKE2：M30；	程序结束

3. 循环语句

（1）HNC—21/22M 数控系统 循环语句 WHILE ENDW

指令格式：WHILE 条件表达式

… 条件成立（真）

ENDW

（2）FANUC数控系统　在WHILE语句后指定一个条件表达式。

指令格式：WHILE［条件式］DOm（m=1，2，3）

…　　条件不成立（假）

END m；

…

说明：

1）在条件成立期间，HNC—21/22M数控系统执行WHILE之后到ENDW间的程序，FANUC 0i数控系统执行ENDm后的程序；条件不成立时，HNC—21/22M数控系统执行ENDW的下一个程序段，FANUC 0i数控系统执行WHILE之后的DO到ENDm间的程序。条件式和运算符与IF语句相同。FANUC 0i数控系统中的DO和END后的m数值是指定执行范围的识别符，可使用1、2、3；非1、2、3时，报警。

2）嵌套。在DO～END之间的循环识别号（1～3）可使用任意次，但是不能执行交叉循环，否则报警。见表1-23。

注意：如果省略WHILE语句，只指令了DO m，则从DO～END之间形成无限循环。

例：使用WHILE循环语句编写求1～10之和的数控程序。

用HNC—21/22M和FANUC 0i系统编程，为

程　序		
HNC—21/22M	FANUC 0i	说　明
OFZG3; %3200;	O3200;	宏程序号(名)
N10 #1=0;	N10 #1=0;	结果的初值
N20 #2=1;	N20 #2=1;	加数的初值
N30　WHILE #2LE10;	N30　WHILE[#2GT10]DO1;	若加数大于10,则跳转到N70程序段
N40 #1=#1+#2;	N40 #1=#1+#2;	计算结果
N50 #2=#2+1;	N50 #2=#2+1;	下一个加数
N60　ENDW;	N60　END1;	返回到N30
N70　M30;	N70　M30;	程序结束

3.1.3　用宏程序命令对变量进行赋值

变量的赋值方法有两种，即直接赋值和引数赋值，其中直接赋值的方法比较直观、方便，所有具有宏程序功能的数控系统都具有为变量直接赋值的功能。

1. 直接赋值

公共变量既可以在主程序和用户宏程序中直接赋值或用演算式赋值，也可以通过操作面板由人工设定它的值（赋值）。无论用什么方法给公共变量赋值（包括用演算式所得演算结果的赋值）之后，这个变量在加工程序（包括主程序、子程序和用户宏程序）执行过程中一直可以延用，除非中途又得到新的赋值。公共变量的值在各主程序中也通用。

例如：#100=100.0

#101=30.0+20.0

R102=120.0

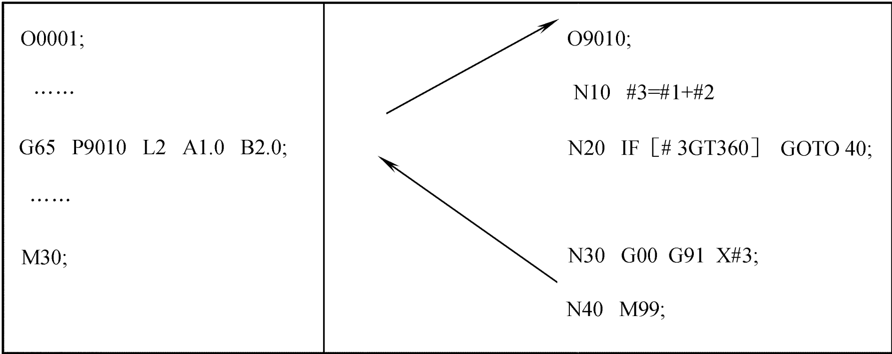
R103=60.0+40.0

2. 引数赋值

宏程序以子程序形式出现，所用的局部变量可在宏程序调用时赋值，然后再传递到宏程序内部，即任何引数赋值前必须指定 G 代码、M 代码等宏程序调用指令，以及以地址符 P 指定的被调用宏程序号（入口地址），这样被赋值的引数值能被传递到宏程序中。

局部变量既可在调用宏程序的宏指令中赋值，也可以在宏程序中直接赋值或用演算式赋值。在执行中，用户宏程序内局部变量的值最多只保留到该程序结束为止。局部变量不能在操作面板上设定。对有些系统（FANUC 系统），局部变量可以在屏幕上显示其即时值，而对另一些系统（SIEMENS 系统）则不能。

例：



（1）HNC—21/22M 华中世纪星数控系统引数赋值传递规则 如下表：

宏当前局部变量	宏调用时所传递的字段名或系统变量	宏当前局部变量	宏调用时所传递的字段名或系统变量
#0	A	#20	U
#1	B	#21	V
#2	C	#22	W
#3	D	#23	X
#4	E	#24	Y
#5	F	#25	Z
#6	G	#26	固定循环指令初始平面 Z 模态值
#7	H	#27	不用
#8	I	#28	不用
#9	J	#29	不用
#10	K	#30	调用子程序时轴 0 的绝对坐标
#11	L	#31	调用子程序时轴 1 的绝对坐标
#12	M	#32	调用子程序时轴 2 的绝对坐标
#13	N	#33	调用子程序时轴 3 的绝对坐标
#14	O	#34	调用子程序时轴 4 的绝对坐标
#15	P	#35	调用子程序时轴 5 的绝对坐标
#16	Q	#36	调用子程序时轴 6 的绝对坐标
#17	R	#37	调用子程序时轴 7 的绝对坐标
#18	S	#38	调用子程序时轴 8 的绝对坐标
#19	T		

（2）FANUC 0i 数控系统引数赋值传递规则　有两种指定形式：

1）引数赋值指定Ⅰ。

地址	变量号	地址	变量号	地址	变量号
A	#1	I	#4	T	#20
B	#2	J	#5	U	#21
C	#3	K	#6	V	#22
D	#7	M	#13	W	#23
E	#8	Q	#17	X	#24
F	#9	R	#18	Y	#25
H	#11	S	#19	Z	#26

a）地址 G、L、N、O 和 P 不能在自变量中使用。

b）不需要指定的地址可以省略，对应于省略地址的局部变量为空。

c）地址不需要按字母顺序指定，但应符合字母地址的格式。I、J 和 K 需要按字母顺序指定。

举例：B _ A _ D _…J _ K _正确

　　　B _ A _ D _…J _ I _不正确

2）引数赋值指定Ⅱ。引数赋值指定Ⅱ使用 A、B 和 C 各 1 次，I、J、K 各 10 次。引数赋值指定Ⅱ用于传递诸如三维坐标值。

地址	变量号	地址	变量号	地址	变量号
A	#1	K3	#12	J7	#23
B	#2	I4	#13	K7	#24
C	#3	J4	#14	I8	#25
I1	#4	K4	#15	J8	#26
J1	#5	I5	#16	K8	#27
K1	#6	J5	#17	I9	#28
I2	#7	K5	#18	J9	#29
J2	#8	I6	#19	K9	#30
K2	#9	J6	#20	I10	#31
I3	#10	K6	#21	J10	#32
J3	#11	I7	#22	K10	#33

I、J、K 的下标用于确定引数赋值指定的顺序，在实际编程中不写。

在 NC 内部可自动判别引数赋值Ⅰ、Ⅱ。当对同一变量Ⅰ、Ⅱ两组的引数错误地混在一起赋值时，则认为后面的引数有效。

例如：G65　A1.0　B2.0　I—3.0　I4.0　D5.0；

　　　　　　↓　　↓　　↓　　↓　　↓

　　　　　　#1　#2　#4　#7　#7

在上例中，对变量#7 由 I4.0 及 D5.0 这两个引数赋值时，只有后边的 D5.0 才是有效的。

3.2 数控铣床、加工中心宏（参数）程序编程技巧

用户宏（参数）程序功能是数控技术的重要发展，将变量和演算式引入加工程序，并允许在加工程序中使用逻辑判断语句。用了变量和演算式的子程序称为用户宏程序（本体），在主程序或上一层用户宏程序中呼出用户宏程序的语句（程序段）叫做宏程序（参数）语句。宏程序（参数）语句通常用于精加工。

3.2.1 根据不同类型的零件进行程序设计及加工方法的选择

1. 规则公式曲面的程序设计与加工方法

在对斜面、球面和椭球面等规则公式曲面进行程序编程时，一般由曲面的规则公式或参数方程，选择其中的一个变量作为自变量（或参数），另一个变量作为这个自变量的函数，并将公式或方程转化为这个自变量（参数）的函数表达式；再用数控系统中的变量（#i 或 Ri）来表示这个函数表达式；最后根据这个曲面的起始点和移动步距，采用等间距直线逼近法和圆弧逼近法来进行程序设计。而曲面加工时，多在三坐标控制的二轴半或三轴联动的数控机床上用“行切法”进行加工。当曲面为边界敞开的凸形曲面时，刀具可以采用小直径的立铣刀或球头铣刀；当曲面为边界封闭的凹槽时，刀具只宜选用球头铣刀，如图 3-1 所示。

所谓“行切法”是指刀具与零件轮廓的切点轨迹是一行一行的，而行间的距离是按零件加工精度的要求确定。在三坐标数控铣床上进行加工时只有两个坐标联动，另一个坐标按一定行距周期性进给。这种方法常用于不太复杂的空间曲面的加工，其加工示意图如图 3-1 所示。

另外用三坐标数控铣床进行二轴半近似加工时，铣削刀具常选用球头铣刀和鼓形铣刀，以直线或圆弧插补方式分层铣削；由于此方法所留迭刀残痕比较大，因此编程时尽量取较小的行距和层距，或加工完毕后用钳修方法清除所留迭刀残痕。

2. 不规则曲面的程序设计与加工方法

在对不规则曲面进行程序编程时，一般先对曲面分层进行相似拟合，随后对相似拟合的曲线套用规则公式，再按照规则公式曲面编程和加工的方法分段进行；如果不能用规则公式来表达，则求出曲线上相邻点的坐标绘制出曲线列表，采用列表式方法编程。同样，对不规则曲面进行加工时，通常采用“行切法”或“环切法”等多种方法进行二轴半、三轴（四轴或五轴）联动加工。如果曲面实在无法拟合，建议采用自动编程方法进行编程，如图 3-2 所示。

3. 曲面加工的刀具选择和走刀路线

铣削曲面类零件时，通常采用球头铣刀用“行切法”的铣削方式进行加工。因为使用其他形状的刀具加工曲面时，容易产生干涉而铣伤邻近表面。

加工一个曲面时可能采取的三种走刀路线如图 3-3 所示。即沿参数曲面的 U 向行切、沿 W 向行切和环切。对于直母线类表面，采用图 3-3b 的方案更有利，每次沿直线走刀，刀位

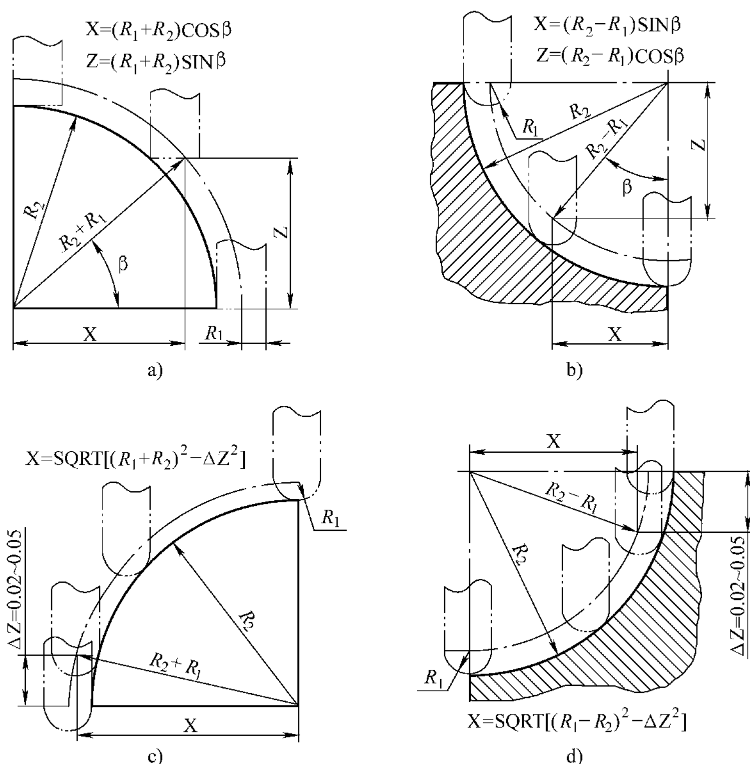


图 3-1　规则公式曲面编程与铣削方式示例

a）参数方程立铣刀凸形曲面加工方式　b）参数方程球头铣刀凹槽曲面加工方式

c）一般公式球头铣刀凸形曲面加工方式　d）一般公式球头铣刀凹槽曲面加工方式

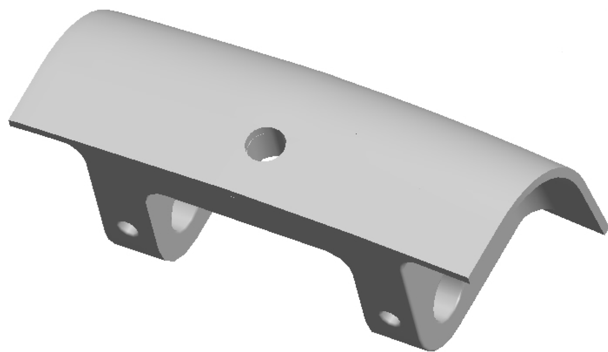


图 3-2　变斜角类零件

点计算简单、程序段少，而且加工过程符合直纹面的形成规律，可以准确保证母线的直线度。图 3-3a 方案的优点是便于在加工后检验型面的准确度。因此，实际生产中最好将以上两种方案结合起来。图 3-3c 所示的环切方案一般应用在内槽加工中，在型面加工中由于编程麻烦，一般不用。但在加工螺旋桨桨叶一类零件时，工件刚度小，采用从里到外的环切，有利于减小工件在加工过程中的变形。

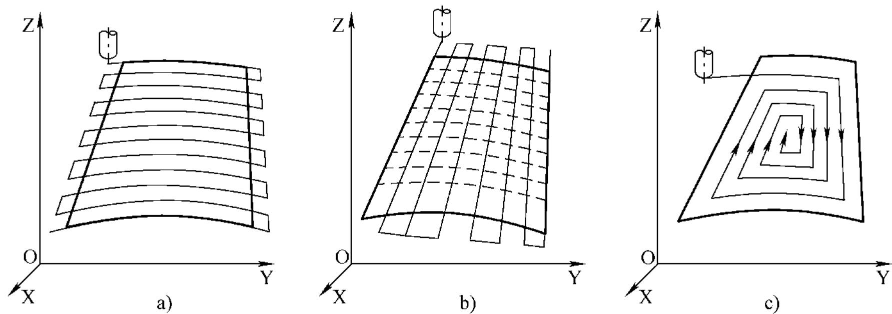


图 3-3 曲面加工路线
a）W 向行切 b）U 向行切 c）环切

3.2.2 设计程序流程结构框图

数控机床加工零件是靠数控指令程序控制完成的。一个零件程序是由数控装置专用编程语言书写的一系列指令组成的，它包括机床的运动过程、零件的工艺过程、刀具的形状、切削用量和走刀路线等，这些都要编入程序。能够将这些过程用最简捷的方法进行描述的就是程序流程框图。

数控铣削加工的工艺性分析是编程前的重要工艺准备工作之一，关系到机械加工的效果和成败，不容忽视。由于数控机床是按照程序来工作的，因此对零件加工中所有的要求都要体现在加工中，如加工顺序、加工路线、切削用量、加工余量、刀具的尺寸及是否需要切削液等，都要预先确定好并编入程序中。因此在对零件进行数控工艺性分析后，先不要忙着编写程序，应先绘制程序结构流程框图，因为它比文字表达更直观，更容易检查和调整。

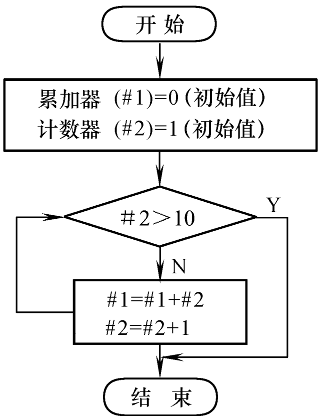


图 3-4 求 1～10 之和的宏程序流程框图

程序流程结构框图是用一些图框表示各种操作，用图形表示各种算法，用流程线指出各框的执行顺序、选择、跳转和循环条件的满足情况；它直观、形象，易于理解。程序流程结构框图比用编程语言书写的一系列指令程序紧凑，直观。程序流程结构框图设计的好坏直接反映了程序设计的好坏，同时也直观反映了工艺设计是否合理、操作步骤是否最简捷（加工工序和走刀路线）。

例：求 1～10 之和的数控程序用流程框图来表示，如图 3-4 所示。

3.2.3 合理选择图形的数学处理方法

对零件图进行数学处理是编程前的主要准备工作之一，不但对手工编程来说是必不可少的工作步骤，而且即便采用计算机进行自动编程，也经常需要先对工件的轮廓图形进行数学预处理，才能对有关几何元素进行定义。

非圆曲线处理包括除圆以外的各种可以用方程描述的圆锥二次曲线（如抛物线、椭圆、双曲线）、阿基米德螺旋线、对数螺旋线及各种参数方程、极坐标方程所描述的平面曲线与

列表曲线等。数控机床在加工上述各种曲线平面轮廓时，一般都不能直接进行编程，而必须经过数学处理以后，采用相互连接的直线逼近和圆弧逼近方法，才能通过设置宏变量（或参数）和演算式，并引入加工程序，同时在加工程序中使用逻辑判断语句进行编程。下面将分别介绍常用的直线逼近和圆弧逼近的数值计算方法。

1. 直线逼近法

一般来说，由于直线逼近法的插补节点均在曲线轮廓上（图 3-5），容易计算，程编也简便一些，所以常用直线逼近法来逼近非圆曲线。其缺点是插补误差较大，但只要处理得当还是可以满足加工需要的，关键在于插补长度及插补误差控制。

由于各种曲线上各点的曲率不同，如果要使各插补段长度均相等，则各段插补的误差大小不同。反之，如果要使各段插补误差相同，则各插补段长度不等。下面介绍常用的手工编程拟合计算方法。

（1）等间距直线逼近法　等间距直线逼近法是在一坐标轴方向，将拟合轮廓的总增量（如果在极坐标系中，则指转角或径向坐标的总增量）进行等分后，对其设定节点所进行的坐标值计算方法，如图 3-6 所示。

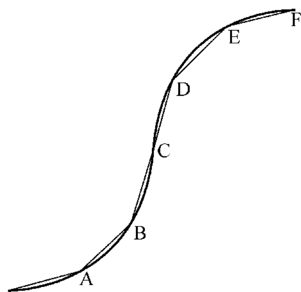


图 3-5　零件轮廓的节点

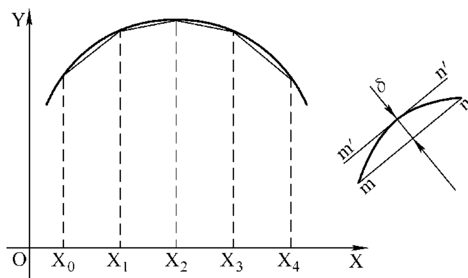


图 3-6　等间距直线逼近法

已知方程 $Y=f(X)$，根据给定的 ΔX 求出 X_i，将 X_i 代入 $Y=f(X)$ 即可求得一系列的 (X_0,Y_0)，…，(X_i,Y_i)，即每个线段的终点坐标，并以该坐标值编制直线程序段。

ΔX 取决于曲线的曲率和允许误差 δ，一般 δ 取零件的 1/10～1/5，验算的方法如图 3-6 所示。mn 为计算后某一逼近线段，作 m′n′平行于 mn 并与曲线相切，切点至 mn 的距离为 δ，若求得 mn 的方程为

$$AX+BY+C=0$$

则 m′n′的方程为

$$AX+BY+C\pm\delta\sqrt{A^2+B^2}=0$$

求解联立方程：

$$\begin{cases}AX+BY+C\pm\delta\sqrt{A^2+B^2}=0\\ Y=f(X)\end{cases}$$

当该方程组有一解或无解时，即可满足精度要求。等间距直线逼近计算简单，但由于取定值 ΔX，在曲率变化较大时，程序段数较多。

采用这种方法进行手工编程时，容易控制其非圆曲线或立体型面的节点，因此，宏（参数）程序编程普遍采用这种方法。但由于用直线逼近曲线时，工件轮廓是由许多折线构

成的近似线段，连接点处不光滑，而且直线的曲率半径无穷大，与原有曲线的曲率半径相差很大。使用圆弧逼近可以避免这些缺点。

（2）等插补段直线逼近法　等插补段直线逼近法即是所有逼近线段的长度都相等，如图 3-7 所示。

例：为生产一种以抛物线 $y^2=4000x$ 绕 X 轴旋转而成的 4m 微波天线抛物面板，需要先制造一块检验样板，允许最大制造误差 $\delta_{允}=0.03$mm。现准备按样板轮廓编程，在数控铣床上加工，采用等插补段直线逼近法确定步长 $l_{插}$ 及计算各插补节点坐标的步骤如下：

1）求最小曲率半径 R_{min}：将方程 $y^2=4000x$ 改写为 $x=y^2/4000$，对 y 连续求导如下：

$x'=y/2000$，$x''=1/2000$，$x'''=0$，代入式 $3(x'')^2x'-[1+(x')^2]y'''=0$，得 $y=0$（实际上，根据抛物线的特点，顶点处的曲率半径肯定最小，可不必进行上述计算），再将 $y=0$ 代入式

$$R=[1+(x')^2]^{3/2}/x''$$

得 $R_{min}=2000$。

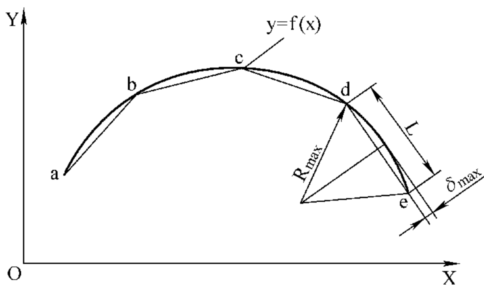


图 3-7　等插补段直线逼近法

2）计算最小曲率半径处的允许插补长度 $l_{插}$。考虑实际加工时的系统误差，其插补误差 $\Delta_{插}$ 应小于 $\delta_{允}$，故公式

$$l_{插}\approx\sqrt{8R_{min}\delta_{允}}$$

将 $\delta_{允}$ 用 $\Delta_{插}$ 代替，即

$$l_{插}\approx\sqrt{8R_{min}\Delta_{插}}$$

现设定 $\Delta_{插}=0.01$，则

$$l_{插}\approx\sqrt{8\times2000\times0.01}=12.65\text{（也可取整数 12 或 13）}$$

3）求插补节点的坐标：解联立方程

$$\begin{cases}(x-x_i)^2+(y-y_i)^2=12.65^2\\ y^2=4000x\end{cases}$$

其中，$i=0, 1, 2, 3, \cdots$；且 $x_0=0$，$y_0=0$。因样板只需要取抛物线的一侧，故只取 $x_i\geqslant0$，$y_i\geqslant0$。

4）按上述步骤编程序在计算机上求解，至 $2000<y_i\leqslant2020$ 止。在程序中用变量（或参数）代替 i 循环计算节点，然后以直线插补方式编制加工程序。如果要用圆弧插补方式编程，可把圆弧的型值点作为曲线的节点进行圆弧插补。

（3）等插补误差法　该方法是使各插补段的误差相等，而插补长度不等，可大大减少插补段数，这一点比等插补段法优越。它可以用最少的插补段数目完成对曲线的插补工作，故对大型复杂零件的曲线轮廓处理意义较大。

设曲线方程为 $y=f(x)$，允许插补误差为 $\delta_{允}$，则用等插补误差法求节点坐标的步骤如下（见图 3-8）：

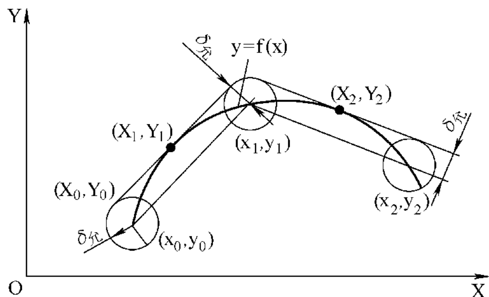


图 3-8　等插补误差的计算

1）以曲线起点（x_0，y_0）为圆心，$\delta_{允}$ 为半径，建立圆方程为

$$(x_0, y_0)^2 + (x_0, y_0)^2 = (\delta_{允})^2$$

2）求该圆与曲线 $y = f(x)$ 的公切线方程 $y = Kx + b$。其公切线的斜率

$$K = \tan\alpha = (Y_1 - Y_0)/(X_1 - X_0)$$

上式中的 X_1、Y_1 与 X_0、Y_0 可通过解下列方程组求得。

$$\begin{cases} f'(X_1) = (Y_1 - Y_0)/(X_1 - X_0) & [f(X)\text{为曲线方程}] \\ f(X_1) = Y_1 & \\ F'(X_0) = (Y_1 - Y_0)/(X_1 - X_0) & [F(X)\text{为圆方程}] \\ F(X_0) = Y_0 & \end{cases}$$

当求出 X_1、Y_1 与 X_0、Y_0 后，就可以得到斜率 K，从而求得通过点（x_0，y_0）且斜率为 K 的直线方程。

$$y = K(x - x_0) + y_0$$

3）求插补节点：解下列方程组

$$\begin{cases} y = f(x) \\ y = K(x - x_0) + y_0 \end{cases}$$

便可以求得交点（x_1，y_1），从而确定第一个插补节点。如再以（x_1，y_1）点重复上述计算，便可得到第二个插补节点坐标，依次逐步计算其余各插补节点坐标值，直到满足加工需要为止。但这一手法用手工计算比较麻烦，用计算机计算要方便得多。

上述三种方法除用于直线插补加工由数学方程表达的非圆曲线外，也常用于圆弧插补加工此类非圆曲线轮廓时事先在曲线上获取型值点，目的是防止取点的盲目性及控制插补误差。

2. 圆弧逼近法

用圆弧逼近曲线有曲率圆法、三点圆法和相切圆法等方法。三点圆法是通过已知三个节点求圆，并作为一个圆程序段。相切圆法是通过已知四节点分别作出两个相切的圆，编出两个圆程序段。这两种方法都应先用直线逼近法求出节点，再求出各圆，编出两个圆弧程序段。

（1）用三点圆法求各段圆弧的圆心与半径　其步骤如下：

1）通过三点 $P_1(x_1, y_1)$、$P_2(x_2, y_2)$、$P_3(x_3, y_3)$ 作圆，如图 3-9 所示。圆的方程用行列式表示为

$$\begin{vmatrix} x^2 + y^2 & x & y & 1 \\ x_1^2 + y_1^2 & x_1 & y_1 & 1 \\ x_2^2 + y_2^2 & x_2 & y_2 & 1 \\ x_3^2 + y_3^2 & x_3 & y_3 & 1 \end{vmatrix} = 0$$

2）求圆心坐标。将圆的行列式方程化为下列形式：

$$x^2 + y^2 + Dx + Ey + F = 0$$

则圆心坐标为

$$\begin{cases} x_{01} = -D/2 \\ y_{01} = -E/2 \end{cases}$$

3）求半径 R：

$$R = \sqrt{D^2 + E^2 - 4F}/2$$

在实际应用中，往往希望以最少的圆弧段来逼近曲线，因此在使用三点圆法时不一定非用邻近的三点，也可用相间隔的三点来作，如图 3-10 所示。先用 $P_1(x_1, y_1)$、$P_5(x_5, y_5)$、$P_9(x_9, y_9)$作一圆，再将其他中间各点的 x 坐标（或 y 坐标）代入该圆方程，计算出相应各点的 y 坐标（或 x 坐标），与原节点坐标值比较，若差值小于 $\delta_{允}$，则可认为逼近成功，否则要重新选点再做比较。为了防止选点的盲目性，提高工作效率，可以先求各节点处的曲率半径。因为对一个圆来说，其圆上各点的曲率半径相等，所以只有当某段曲线上各节点处的曲率半径相近时，才有可能近似地达到共圆。此外，在圆弧逼近时，也要尽量使相邻各圆弧段之间相切（实在做不到时，也可用小直线段将相邻两圆弧相切过渡）。

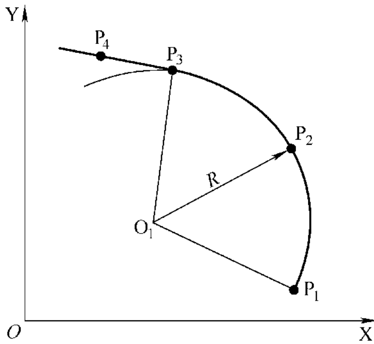


图 3-9　用邻近三点求圆

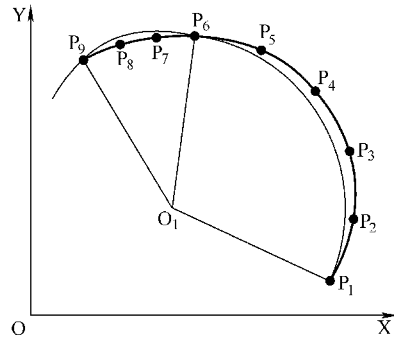


图 3-10　用间隔三点作圆

（2）曲率圆法　这是一种等误差圆弧逼近的方法，其计算步骤（图 3-11）如下：

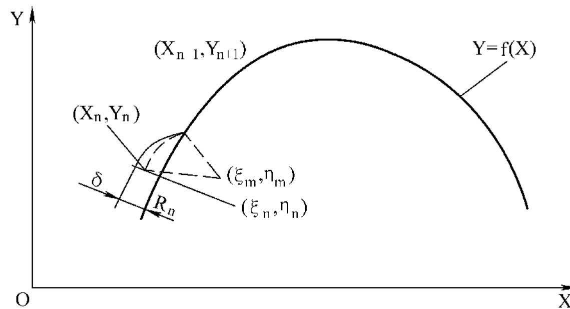


图 3-11　曲率圆法

1）以曲线 Y = f(X)的起点（X_n，Y_n）开始作曲率圆，其曲率参数为

圆心：

$$\xi_n = X_n - Y'_n \frac{1 + (Y'_n)^2}{Y''_n}$$

$$\eta_n = Y_n + \frac{1 + (Y'_n)^2}{Y''_n}$$

半径：

$$R_n = \frac{[1 + (Y'_n)^2]^{3/2}}{Y_n}$$

2）已知允许误差 δ，求偏差圆与曲线的交点，解联立方程：

$$\begin{cases}(X-\xi_n)^2 + (Y-\eta_n)^2 = (R_n+\delta)^2 \\ Y = f(X)\end{cases}$$

得（X_{n+1}，Y_{n+1}）。

3）求过（X_n，Y_n）和（X_{n+1}，Y_{n+1}）两点，半径为 R_n 的圆的圆心坐标，即求

$$\begin{cases}(X-X_n)^2 + (Y-Y_n)^2 = R_n^2 \\ (X-X_{n+1})^2 + (Y-Y_{n+1})^2 = R_n^2\end{cases}$$

的交点（ξ_m，η_m），该圆即为逼近圆，其起点为（X_n，Y_n），终点为（X_{n+1}，Y_{n+1}），半径为 R_n。以这些参数编制圆弧程序段。

4）重复上述步骤，依次计算其他逼近圆。

3.2.4　非圆曲线轮廓零件编程实例

非圆曲线轮廓零件的种类很多，但不管是哪一种类型的非圆曲线零件，编程时所做的数学处理都是相同的。一是选择插补方式，即首先应决定是采用直线段逼近非圆曲线，还是采用圆弧段逼近非圆曲线；二是插补节点坐标计算。采用直线段逼近零件轮廓曲线，一般数学处理较简单，但计算的坐标数据较多。这里重点举例说明直线逼近法中的等插补段法编制非圆曲线轮廓零件程序。

编程举例 1：试用宏程序（华中数控系统）编制如图 3-12 所示的一个周期的正弦线轮廓零件程序。

分析：通常编制此类零件程序时用自动编程，但现在要求用手工编制程序，因此只能通过宏（或参数）程序来解决。根据图 3-12 所示轮廓，选择直线逼近法中的等插补段法进行宏程序编制。

等插补段法是使一坐标的增量相等，然后求出曲线上相应的节点，将相邻节点连成直线，用这些直线段组成的折线代替原来的轮廓曲线（见图 3-13）。其特点是计算简单，坐标增量的选取可大可小，选得越小，则加工精度越高，同时节点会增多。

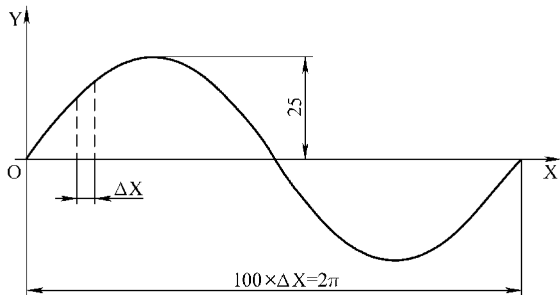


图 3-12　正弦线轮廓

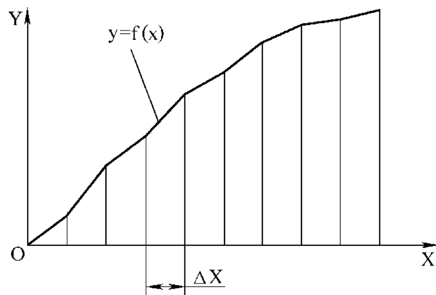


图 3-13　等距离法

用变量#0 作为等插补段法的增量 ΔX，将 X 轴上从 0 ~ 2π 等分成 100 段，变量#1 表示图 3-12 中相邻各节点的弧度值；则通过正弦公式 X = #1，Y = #5 * SIN（#1）表示正弦线轮廓上的 X、Y 坐标值（#0 = 2π/100，#1 = #1 + #0，弧度峰值#5 = SIN(π/2)）。

1. 绘制宏程序框图

正弦线轮廓宏程序框图如图 3-14 所示。

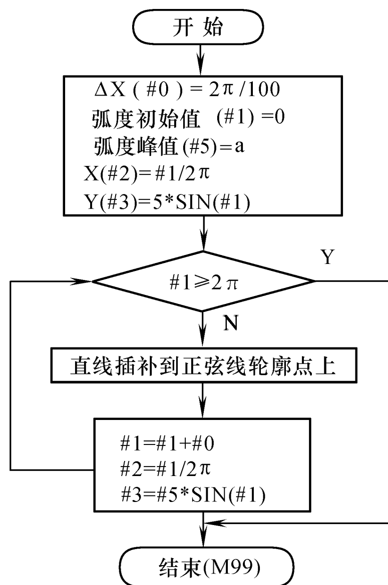


图 3-14 正弦线轮廓宏程序框图

2. 宏（或参数）程序

（1）HNC—21/22M 华中世纪星数控系统

```
O1000;文件名
%0001;主程序号
N100  # 0 =2 * PI/100;X 轴等距离坐标增量
      # 1 =0;弧度初始值
      # 5 = A;A 为弧度峰值,常量
N110  WHILE #1LE[2 * PI];假设#1 大于 2π,跳转到 N160 程序段
N120  # 2 =#1/[2 * PI];计算正弦线轮廓上当前 X 点坐标值
      # 3 =#5 * SIN[#1];计算正弦线轮廓上当前 Y 点坐标值
N130  G01  X[#2]  Y[#3]  F200;直线插补到正弦线轮廓点上
N140  #1 =#1 +#0;弧度初始值等值增加
N150  ENDW;循环结束
⋮
N200  M30;宏程序结束并返回
```

（2）SINUMERIK 802D 数控系统

```
FZG1000;主程序名
```

```
⋮
N100  R0 = 2 * PI/100;X 轴等距离坐标增量
      R1 = 0;弧度初始值
      R5 = A;A 为弧度峰值,常量
N110  MARKE1:R2 = 100 * R1/[2 * PI];计算正弦线轮廓上当前 X 点坐标值
N120  R3 = R5 * SIN[R1];计算正弦线轮廓上当前 Y 点坐标值
N130  G01  X = R2  Y = R3  F200;直线插补到正弦线轮廓点上
N140  R1 = R1 + R0;弧度初始值等值增加
N150  IF R1 < [2 * PI] GOTOB MARKE1;假设 R1 小于 2π,跳转到 MARKE1 标志符程序段
⋮
N200  M02;参数程序结束并返回
```

(3) FANUC 0i 数控系统

```
O1000;主程序名
⋮
N100  #10 = 2 * PI/100;X 轴等距离坐标增量
N110  #11 = 0;弧度初始值
      #15 = A;A 为弧度峰值,常量
N120  WHILE[#11LE[2 * PI]]DO1;假设#11 大于 2π,则程序跳转到 N170 程序段
N130  #12 = #11/[2 * PI];计算正弦线轮廓上当前 X 点坐标值
      #13 = #15 * SIN[#11];计算正弦线轮廓上当前 Y 点坐标值
N140  G01  X#12  Y#13  F200;直线插补到正弦线轮廓点上
N150  #11 = #11 + #10;弧度初始值等值增加
N160  END1;循环结束
⋮
N200  M30;宏程序结束并返回
```

编程举例 2：试用“#”宏变量或“R”参数（SINUMERIK 802D 系统）编程的方法编制图 3-15 所示整圆的程序。

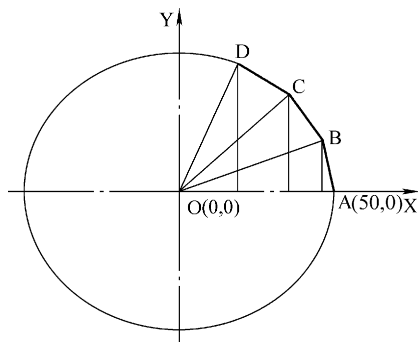


图 3-15　宏变量（R 参数）编制整圆

分析：若不用圆弧插补，可将圆均分成360份，再用直线插补连接。变量#1(R1) =50表示半径，#2(R2) =360表示共分了360份，#3(R3) =1表示间隔1份，#4(R4) =0表示初始角度。

1. 绘制宏（R参数）程序框图

编制圆的宏（R参数）程序流程框图如图3-16所示。

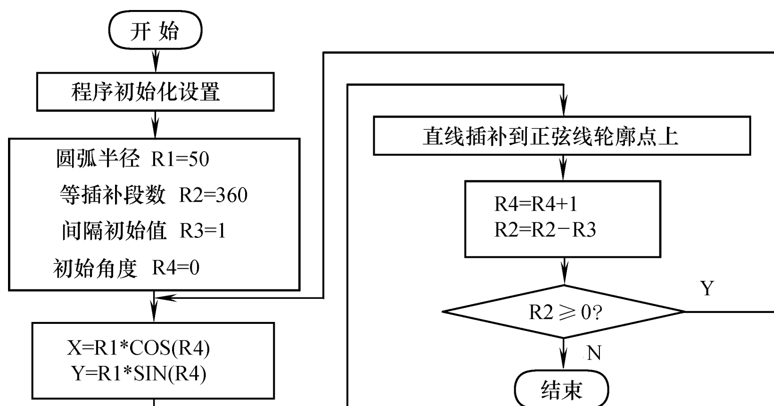


图3-16　编制圆的宏（R参数）程序流程框图

2. 宏（或R参数）程序

(1) HNC—21/22M华中世纪星数控系统

```
O2000;文件名
%0002;主程序号
N10  T01  D01  M06;调用1号刀,1号刀补
N15  G17  G94  G21  G90  G54  G40  G49;工艺加工状态设置
N20  G43  G00  H01  Z50.0  S680  M03;建立刀具长度补偿,主轴正转,转速为680r/min
N25  G42  X50  Y0  M08;建立右刀补,刀具快速移动到(50,0)处,打开切削液
N30  G01  Z-10  F20;刀具下降到最终加工深度
N35  #1 =50.0;圆弧半径
     #2 =360.0;整圆均分数
     #3 =1.0;间隔份数
     #4 =0;变量赋初始值
N40  WHILE #2GE0;如果#2小于0,则程序跳转到N65程序段
N45  X[#1 * COS[#4 * PI/180]]  Y[#1 * SIN[#4 * PI/180]]  F120;直线插补到圆上任意点
N50  #4 =#4 +1 ;计数变量累加1
N55  #2 =#2 -#3 ;角变量递减
N60  ENDW ;循环结束
N62  Y20.0;
N65  G40  X50  Y50  M09;取消刀补,关闭切削液
```

N70　G00　Z50　M05;刀具快速抬起,取消刀具长度补偿,主轴停止

N75　M30;程序结束,返回程序开头

(2) SINUMERIK 802D 数控系统

```
FZG2000;主程序名
N10  T1  D1  M06;调用 1 号刀,1 号刀补
N15  G17  G94  G90  G71  G54  G40  G49;工艺加工状态设置
N20  G43  G00  H01  Z50.0  S680  M03;建立刀具长度补偿,主轴正转,转速为
                                      680r/min
N25  G42  X50  Y0  M07;建立右刀补,刀具快速移动到(50,0)处,打开切削液
N30  G01  Z-10  F20;刀具下降到最终加工深度
N35  R1=50 ;圆弧半径
     R2=360 ;整圆均分数
     R3=1;间隔份数
     R4=0;变量赋初始值
N40  MARKE1:X=R1*COS(R4)  Y=R1*SIN(R4)  F120;直线插补到圆上任意点
N45  R4=R4+1;计数变量累加 1
     R2=R2-R3;角变量递减
N50  IF R2>=0 GOTOB MARKE1;如果 R2>=0,则程序跳转到 MARKE1 标志符
N52  Y20.0;
N55  G40  X50  Y50  M09;取消刀具长度补偿,关闭切削液
N60  G00  Z50  H00  M05;刀具快速抬起,主轴停止
N65  M02;程序结束,返回程序开头
```

(3) FANUC 0i 数控系统

```
O2000;主程序名
N10  T01  D01  M06;调用 1 号刀,1 号刀补
N15  G17  G94  G21  G90  G54  G40;工艺加工状态设置
N20  G00  Z50.0  S680  M03;建立刀具长度补偿,主轴正转,转速为 680r/min
N25  G42  X50.0  Y0 M08;建立右刀补,刀具快速移动到(50,0)处,打开切削液
N30  G01  Z-10.0  F20;刀具下降到最终加工深度
N35  #1=50.0;圆弧半径
     #2=360.0;整圆均分数
     #3=1.0;间隔份数
     #4=0;变量赋初始值
N40  WHILE [#2GE0]  DO1;如果#2 小于 0,则程序跳转到 N65 程序段
N45  X[#1*COS[#4]]  Y[#1*SIN[#4]]F120;直线插补到圆上任意点
N50  #4=#4+1;计数变量累加 1
N55  #2=#2-#3;角变量递减
N60  END1; 返回循环体
N62  Y20.0;
```

N65 G40 X50.0 Y50.0 M09;取消刀具长度补偿,关闭切削液

N70 G00 Z50.0 H00 M05;刀具快速抬起,主轴停止

N75 M30;程序结束,返回程序开头

说明：程序中，N45 中#4(R4)、#3(R3)是宏(参数)变量，每调用一次，#4(R4)将增加1°，#2(R2)减少1份。根据它们的变化，WHILE(或 IF)后的条件表达式为真时，程序跳转；为假时，顺序执行。

3.3 数控铣床、加工中心宏程序编程实例

3.3.1 零件平面铣削宏程序编程实例

3.3.1.1 长方形零件平面同向铣削宏程序编程

编制一个通用类宏程序，铣削加工图3-17所示长方形零件的平面，采用同向铣削平面的走刀路线，假设 X_0 为工件左下角的横坐标绝对值，Y_0 为工件左下角的纵坐标绝对值，Z 为垂向最终加工深度，R 为刀具起始加工深度及快速接近点坐标绝对值，U 为工件的横（X）向长度，V 为工件的纵（Y）向宽度，D 为加工零件的刀具半径，E 为有效切削刀具直径百分比（E≤1），C 为间隙（C≥刀具半径），K 为精加工余量，Q 为每层加工深度（Q = R − Z + K）。

由图3-17所示分析，可画出该宏程序的结构流程框图，如图3-18所示。

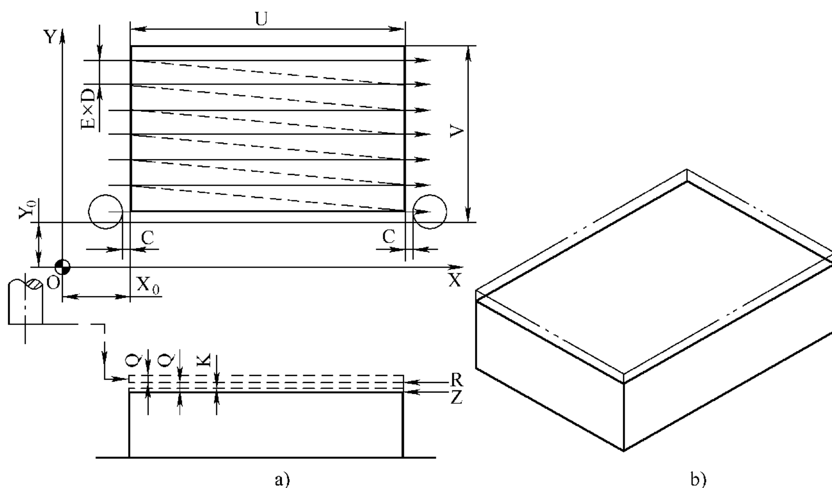


图3-17 长方形零件平面同向铣削走刀路线示意图

a）长方形零件平面同向铣削示意图 b）效果图

（1）HNC—21/22M 华中世纪星数控系统对长方形零件平面同向铣削的用户宏程序

局部变量含义：

#23 = X_0 ；X_0—工件左下角的 X 绝对坐标值

#24 = Y_0 ；Y_0—工件左下角的 Y 绝对坐标值

#25 = Z ；Z—垂直（Z）方向最终加工深度尺寸值

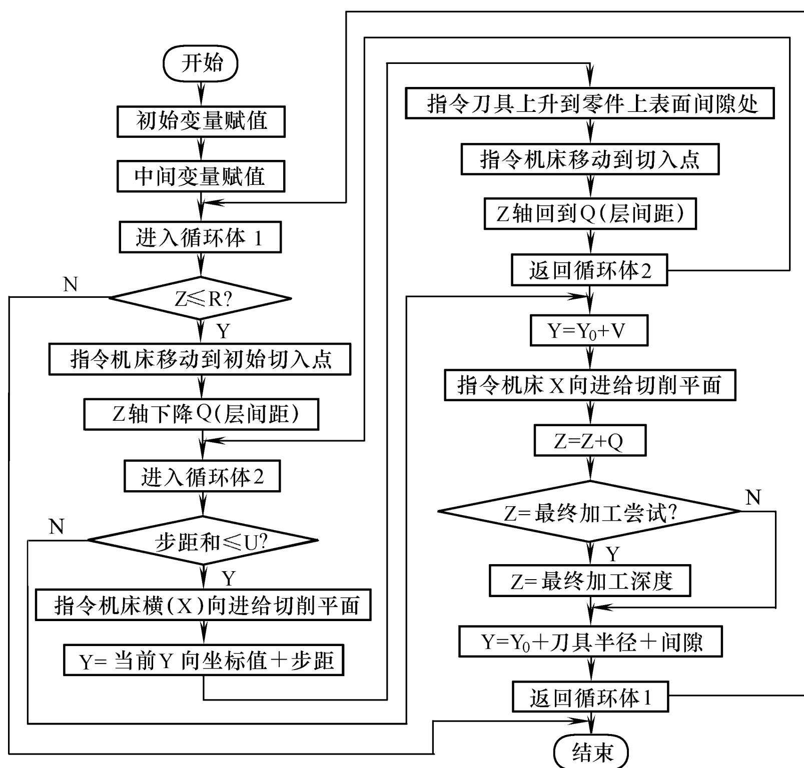


图 3-18　长方形零件平面同向铣削用户宏程序结构流程框图

#17 = R　;R—刀具起始加工深度及快速接近点坐标绝对值

#20 = U　;U—工件横(X)向长度

#21 = V　;V—工件纵(Y)向长度

#3 = D　;D—刀具半径

#5 = F　;F—切削进给速度

#4 = E　;E—有效切削刀具百分比(E≤1)

#2 = C　;C—间隙

#10 = K　;K—精加工余量

#16 = Q　;Q—Z 轴每次下降深度

%3311;宏程序号

N010　#27 = #23 − [#2 + #3];刀具起刀点的 X 绝对坐标值[$X_0-(C+D)$]

　　#28 = #24 + #3 * [2 * #4 − 1];刀具起刀点的 Y 绝对坐标值($Y_0+2DE-D$)

　　#29 = #17 + #10 − #16;刀具首次等高背吃刀量

　　#30 = #28;将刀具起刀点的 Y 绝对坐标值赋给中间变量#30

　　#14 = 2 * #3 * #4;Y 方向移动步距 2DE

N015　WHILE #29GT#25 ;当#29 小于或等于#25 时,程序跳转到 N095 程序段

N020　#12 = #14;将 Y 方向移动步距赋给中间变量#12

N025　G00　X[#27]　Y[#28];指令刀具快速移动至工件左下角处 $X=X_0-(C+D)$ $Y=Y_0+D(2E-1)$

```
N030  Z[#17];刀具快速下降到工件毛坯表面
N035  G01  Z[#29]  F[#5/2];刀具以工进速度等高下降 Q(Z=R+K-Q)
N040  WHILE  #12LE#21;当#12 大于#21 时,程序跳转到 N080 程序段
N045  G01  X[#20+#2+#3+#23]  F[#5];刀具从工件左侧向右侧直线插补
N050  #12=#12+#14;变量(Y 方向移动步距 2DE)叠加
N055  #28=#28+#14;Y 方向移动步距等距叠加
N060  Z[#17+5];刀具快速上升到工件毛坯表面上 5mm 处
N065  G00  X[#27]  Y[#28];指令刀具快速移动至工件左侧下次下刀处
N070  Z[#29]  F[#5/2];刀具快速等高下降 Q,并返回循环开头 N040 程序段
N075  ENDW;循环结束
N080  #29=#29-#16;中间变量(背吃刀量)再减去一个等高量
      #28=#30;将中间变量#30 重新赋给#28(刀具起刀点的 Y 绝对坐标值)
N085  G00  G90  Z[#17+5];刀具快速上升到工件毛坯表面上 5mm 处
N090  ENDW;循环结束
N095  #29=#25;将最终加工深度赋给中间变量#29,开始进行平面精加工
      #28=#30;将刀具起点的 Y 绝对坐标值赋给中间变量#28
      #12=#14;将 Y 方向移动步距赋给中间变量#12
N100  G00  X[#27]  Y[#28];指令刀具快速移动至工件左侧下刀处,准备精加工
N105  Z[#17];刀具快速下降到工件毛坯表面
N110  G01  Z[#29]  F[#5/2];刀具以工进速度下降至最终加工深度
N115  WHILE  #12LE#21 ;当#12 大于#21 时,跳转到 N155
N120  G01  X[#20+#2+#3+#23]  F[#5];刀具从工件左侧向右直线插补
N125  #12=#12+#14;变量(Y 方向移动步距 2DE)叠加
N130  #28=#28+#14;Y 方向移动步距等距叠加
N135  Z[#17+5];刀具快速上升到工件毛坯表面上 5mm 处
N140  G00  X[#27]  Y[#28];指令刀具快速移动至工件左侧下次下刀处
N145  Z[#29]  F[#5/2];刀具快速等高下降 Q,并返回循环开头 N115 程序段
N150  ENDW;循环结束
N155  G00  Z[#17+50];刀具快速上升离开工件
N160  M99;宏子程序结束,并返回主程序
```

(2) SINUMERIK 802D 系统对长方形零件平面同向铣削的用户 R 参数程序

R 参数含义:

R24 = X_0 ;X_0—工件左下角的 X 绝对坐标值

R25 = Y_0 ;Y_0—工件左下角的 Y 绝对坐标值

R26 = Z ;Z—垂直(Z)方向最终加工深度尺寸值

R18 = R ;R—刀具起始加工深度及快速接近点坐标绝对值

R21 = U ;U—工件横(X)向长度

R22 = V ;V—工件纵(Y)方向长度

R7 = D ;D—刀具半径

```
R9 = F       ;F—切削进给速度
R8 = E       ;E—有效切削刀具百分比(E≤1)
R3 = C       ;C—间隙
R6 = K       ;K—精加工余量
R17 = Q      ;Q—Z 轴每次下降深度
L3311;       R 参数程序名
N010  R27 = R24 - [R3 + R7];刀具起刀点的 X 绝对坐标值[X0 - (C + D)]
      R28 = R25 + R7 * [2 * R8 - 1];刀具起刀点的 Y 绝对坐标值(Y0 + 2DE - D)
      R29 = R18 + R6 - R17;刀具首次等高背吃刀量
      R30 = R28;将刀具起刀点的 Y 绝对坐标值赋给中间变量 R30
      R14 = 2 * R7 * R8;Y 方向移动步距 2 × D × E
N015  MARKE1:R12 = R14;将 Y 方向移动步距赋给中间变量 R12
N020  G00  X = R27  Y = R28
              ;指令刀具快速移动至工件左下角处 X = X0 - (C + D) Y = Y0 + D(2E - 1)
N025  Z = R18;刀具快速下降到工件毛坯表面
N030  G01  Z = R29  F = R9/2;刀具以工进速度等高下降 Q(Z = R + K - Q)
N035  MARKE2:G01  X = R21 + R3 + R7 + R24  F = R9;刀具从工件左侧向右直线插补
N040  R12 = R12 + R14;变量(Y 方向移动步距 2DE)叠加
N045  R28 = R28 + R14;Y 方向移动步距等距叠加
N050  Z = R18 + 5;刀具快速上升到工件毛坯表面上 5mm 处
N055  G00  X = R27  Y = R28;指令刀具快速移动至工件左侧下次下刀处
N060  Z = R29  F = R9/2;刀具快速等高下降 Q
N065  IF R12 < = R22  GOTOB  MARKE2;当 R12 小于或等于 R22 时,程序跳转到
                                    MARKE2
N070  R29 = R29 - R17;中间变量(背吃刀量)再减去一个等高量
      R28 = R30;将中间变量 R30 重新赋给 R28(刀具起刀点的 Y 绝对坐标值)
N075  G00  G90  Z = R18 + 5;刀具快速上升到工件毛坯表面上 5mm 处
N080  IF R29 > = R26  GOTOB  MARKE1;当 R29 大于或等于 R26 时,程序跳转到
                                    MARKE1
N085  R29 = R26;将最终加工深度赋给中间变量 R29,开始进行平面精加工
      R28 = R30;将刀具起点的 Y 绝对坐标值赋给中间变量 R28
      R12 = R14;将 Y 方向移动步距赋给中间变量 R12
N090  G00  X = R27  Y = R28;指令刀具快速移动至工件左侧下刀处,准备精加工
N095  Z = R18;刀具快速下降到工件毛坯表面
N100  G01  Z = R29  F = R9/2;刀具以工进速度下降至最终加工深度
N105  MARKE3:G01  X = R21 + R3 + R7 + R24  F = R9;刀具从工件左侧向右侧直线插
                                    补
N110  R12 = R12 + R14;变量(Y 方向移动步距 2DE)叠加
N115  R28 = R28 + R14;Y 方向移动步距等距叠加
```

N120 Z = R18 + 5;刀具快速上升到工件毛坯表面上 5mm 处
N125 G00 X = R27 Y = R28;指令刀具快速移动至工件左侧下次下刀处
N130 Z = R29 F = R9/2;刀具快速等高下降 Q
N135 IF R12 < = R22 GOTOB MARKE3;当 R12 小于或等于 R22 时,程序跳转到 MARKE3
N140 G00 Z = R18 + 50;刀具快速上升离开工件
N145 RET;参数子程序结束并返回主程序

(3) FANUC 0i 系统对长方形零件平面同向铣削的用户宏程序

自变量含义:

#24 = X_0 ;X_0—工件左下角的 X 绝对坐标值
#25 = Y_0 ;Y_0—工件左下角的 Y 绝对坐标值
#26 = Z ;Z—垂直(Z)方向最终加工深度尺寸值
#18 = R ;R—刀具起始加工深度及快速接近点坐标绝对值
#21 = U ;U—工件横(X)向长度
#22 = V ;V—工件纵(Y)向长度
#7 = D ;D—刀具半径
#9 = F ;F—切削进给速度
#8 = E ;E—有效切削刀具百分比(E≤1)
#3 = C ;C—间隙
#6 = K ;K—精加工余量
#17 = Q ;Q—Z 轴每次下降深度

O3311;宏程序名
N010 #27 = #24 - [#3 + #7];刀具起刀点的 X 绝对坐标值[X_0 - (C + D)]
#28 = #25 + #7 * [2 * #8 - 1];刀具起刀点的 Y 绝对坐标值(Y_0 + 2DE - D)
#29 = #18 + #6 - #17;刀具首次等高背吃刀量
#30 = #28;将刀具起刀点的 Y 绝对坐标值赋给中间变量#30
#14 = 2 * #7 * #8;Y 方向移动步距 2DE
N015 WHILE[#29GT#26] DO1;当#29 小于或等于#26 时,程序跳转到 N095 程序段
N020 #12 = #14;将 Y 方向移动步距赋给中间变量#12
N025 G00 X#27 Y#28;指令刀具快速移动至工件左下角处 X = X_0 - (C + D) Y = Y_0 + D(2E - 1)
N030 Z#18;刀具快速下降到工件毛坯表面
N035 G01 Z#29 F[#9/2];刀具以工进速度等高下降 Q(Z = R + K - Q)
N040 WHILE [#12LE#22] DO2;当#12 大于#22 时,程序跳转到 N080 程序段
N045 G01 X[#21 + #3 + #7 + #24] F#9;刀具从工件左侧向右侧直线插补
N050 #12 = #12 + #14;变量(Y 方向移动步距 2DE)叠加
N055 #28 = #28 + #14;Y 方向移动步距等距叠加
N060 Z[#18 + 5];刀具快速上升到工件毛坯表面上 5mm 处
N065 G00 X#27 Y#28;指令刀具快速移动至工件左侧下次下刀处

N070 Z#29 F[#9/2];刀具快速等高下降Q,并返回循环开头N040程序段
N075 END2;循环结束
N080 #29 = #29 - #17;中间变量(背吃刀量)再减去一个等高量
#28 = #30;将中间变量#30重新赋给#28(刀具起刀点的Y绝对坐标值)
N085 G00 G90 Z[#18 + 5];刀具快速上升到工件毛坯表面上5mm处
N090 END1;循环结束
N095 #29 = #26;将最终加工深度赋给中间变量#29,开始进行平面精加工
#28 = #30;将刀具起点的Y绝对坐标值赋给中间变量#28
#12 = #14;将Y方向移动步距赋给中间变量#12
N100 G00 X#27 Y#28;指令刀具快速移动至工件左侧下刀处,准备精加工
N105 Z#18;刀具快速下降到工件毛坯表面
N110 G01 Z#29 F[#9/2];刀具以工进速度下降至最终加工深度
N115 WHILE [#12LE#22] DO3;当#12大于#22时,程序跳转到N155程序段
N120 G01 X[#21 + #3 + #7 + #24] F#9;刀具从工件左侧向右侧直线插补
N125 #12 = #12 + #14;变量(Y方向移动步距2DE)叠加
N130 #28 = #28 + #14;Y方向移动步距等距叠加
N135 Z[#18 + 5];刀具快速上升到工件毛坯表面上5mm处
N140 G00 X#27 Y#28;指令刀具快速移动至工件左侧下次下刀处
N145 Z#29 F[#9/2];刀具快速等高下降Q,并返回循环开头N115程序段
N150 END3;循环结束
N155 G00 Z[#18 + 50];刀具快速上升离开工件
N160 M99;宏子程序结束,并返回主程序

注意：

1）U、V值必须大于0。
2）有效切削刀具直径百分比应小于1。
3）间隙量C不能小于0。
4）精加工余量K不能大于Q。
5）每层加工深度Q不能大于总加工厚度R－Z。
6）刀具半径值D必须大于0。
7）刀具半径补偿指令（G40、G42、G40）没有被使用。
8）精加工时，在操作面板上手动调整主轴和进给倍率开关。

（4）编程实例

图3-19所示一长方形零件，长400.0mm，宽300.0mm，要求对该零件平面进行铣削。

解：（1）工艺设计　建立工件坐标系，工件左下角离开工件坐标系X、Y轴零点的绝对坐标为（100，50），工件表面离开坐标系Z轴零点的绝对坐标值为5.0mm，机床坐标系偏置值设置在G54寄存器中。

采用同向铣削方式铣削平面，选择ϕ80mm的硬质合金面铣刀，取主轴转速为600r/min，铣削进给速度为350mm/min；假设切削厚度为5.0mm，分层切削，每次粗加工深度为

2.0mm，精加工余量为1.0mm，主轴起始位置在零件上方50.0mm处，刀具起始切削高度为5.0mm，最终加工位置为Z0.0mm。

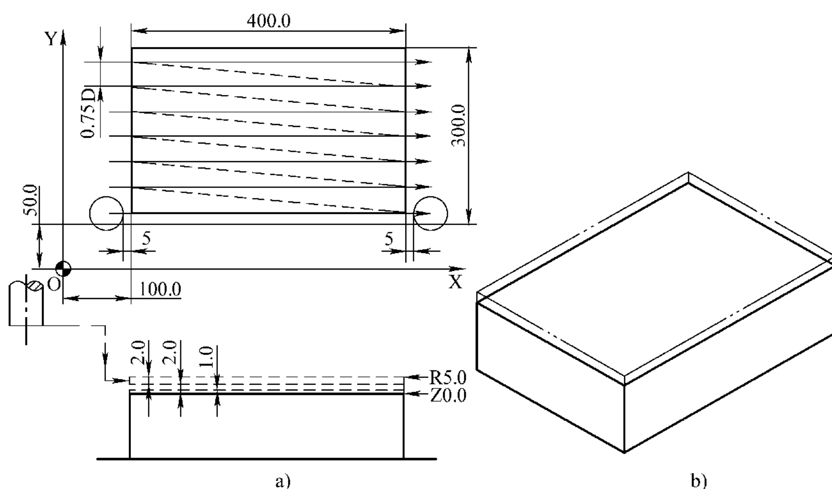


图3-19　长方形零件平面同向铣削编程实例加工路线示意图
a）长方形零件平面同向铣削编程实例尺寸图　b）效果图

（2）参考程序

1）HNC—21/22M华中世纪星数控系统。

O××××;文件名

%3310;程序号

N10　T01　M06;调用1号刀

N15　G17　G90　G21　G94　G54　G40　G49　G80;工艺加工状态设置

N20　G43　G00　Z50.0　H01　S600　M03;建立刀具长度补偿,主轴正转,转速为600r/min

N25　X0.0　Y0.0　M07;刀具快速移动到工件坐标零点,打开切削液

N30　M98　P3311　X100.0　Y50.0　Z0.0　R5.0　U400.0　V300.0　D40.0　F350.0　E0.75　C5.0　K1.0　Q2.0;调用长方形零件平面同向铣削的用户宏程序

N35　G00　Z100.0　M09;刀具退到工件上表面100mm处,切削液关闭

N40　G49;取消刀具长度补偿

N45　X0　Y0　M05　;刀具退回工件坐标零点,主轴停止

N50　M30;程序结束并返回程序开头

2）SINUMERIK 802D数控系统。

FZG×××××;主程序名

N05　R24＝100.0　R25＝50.0　R26＝0.0　R18＝5.0　R21＝400.0　R22＝300.0　R7＝40.0　R9＝350.0　R8＝0.75　R3＝5.0　R6＝1.0　R17＝2.0;参数设置

N10　T1　D1　M06;调用1号刀,1号刀补

N15　G17　G90　G71　G94　G54　G40;工艺加工状态设置

N20　G00　Z50.0　S600　M03;建立刀具长度补偿,主轴正转,转速为 600r/min
N25　X0.0　Y0.0　M07;刀具快速移动到工件坐标零点,打开切削液
N30　L3311;调用长方形零件平面同向铣削的用户 R 参数子程序
N35　G00　Z100.0　M09;刀具退到工件上表面 100mm 处,切削液关闭
N40　X0　Y0　D0　M05;刀具退回工件坐标零点,取消刀具长度补偿,主轴停止
N45　M02;程序结束并返回程序开头

3）FANUC 0i 数控系统。

O××××;主程序名
N10　T01　M06;调用 1 号刀
N15　G17　G90　G21　G94　G54　G40　G49　G80;工艺加工状态设置
N20　G43　G00　Z50.0　H01　S600　M03;建立刀具长度补偿,主轴正转,转速为 600r/min
N25　X0.0　Y0.0　M08;刀具快速移动到工件坐标零点,打开切削液
N30　G65　P3311　X100.0　Y50.0　Z0.0　R5.0　U400.0　V300.0　D40.0　F350.0　E0.75　C5.0　K1.0　Q2.0;调用长方形零件平面同向铣削的用户宏程序
N35　G00　Z100.0　M09;刀具退到工件上表面 100mm 处,切削液关闭
N40　G49;取消刀具长度补偿
N45　X0　Y0　M05;刀具退回工件坐标零点,主轴停止
N50　M30;程序结束并返回程序开头

3.3.1.2　长方形零件平面双向铣削宏程序编程

编制一个通用类宏程序，铣削加工图 3-20 所示长方形零件的平面，采用双向铣削平面的走刀路线，假设 X_0 为工件左下角的横坐标绝对值，Y_0 为工件左下角的纵坐标绝对值，Z 为垂向最终加工深度，R 为刀具起始加工深度及快速接近点坐标绝对值，U 为工件的横（X）向长度，V 为工件的纵（Y）向宽度，D 为加工零件的刀具半径，E 为有效切削刀具直径百分比（E≤1），C 为间隙（C≥刀具半径），K 为精加工余量，Q 为每层加工深度（Q = R－Z＋K）。

由图示分析，可画出该宏程序的结构流程框图，如图 3-21 所示。

1. HNC—21/22M 华中世纪星数控系统对长方形零件平面双向铣削的用户宏程序

局部变量含义：

#23 = X_0　;X_0—工件左下角的 X 绝对坐标值
#24 = Y_0　;Y_0—工件左下角的 Y 绝对坐标值
#25 = Z　;Z—垂直(Z)方向最终加工深度尺寸值
#17 = R　;R—刀具起始加工深度及快速接近点坐标绝对值
#20 = U　;U—工件横(X)向长度
#21 = V　;V—工件纵(Y)向宽度
#3 = D　;D—刀具半径
#5 = F　;F—切削进给速度
#4 = E　;E—有效切削刀具百分比(E≤1)
#2 = C　;C—间隙

#10 = K ;K—精加工余量

#16 = Q ;Q—Z 轴每次下降深度

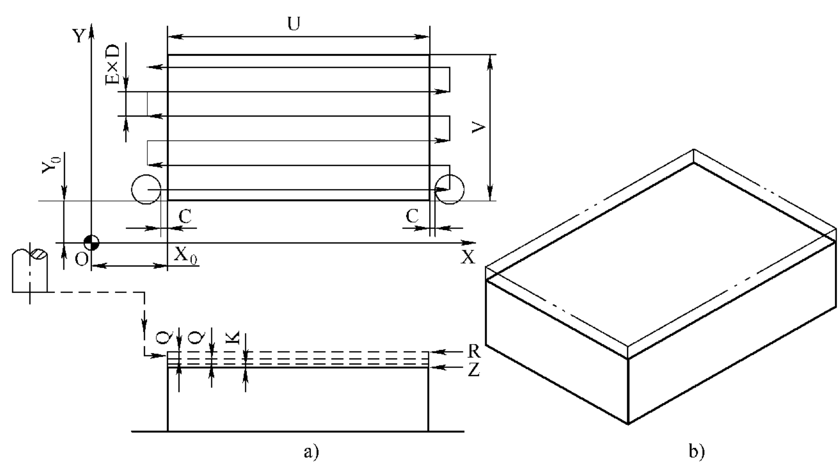


图 3-20 长方形零件平面双向铣削刀具走刀路线图

a）长方形零件平面双向铣削示意图 b）效果图

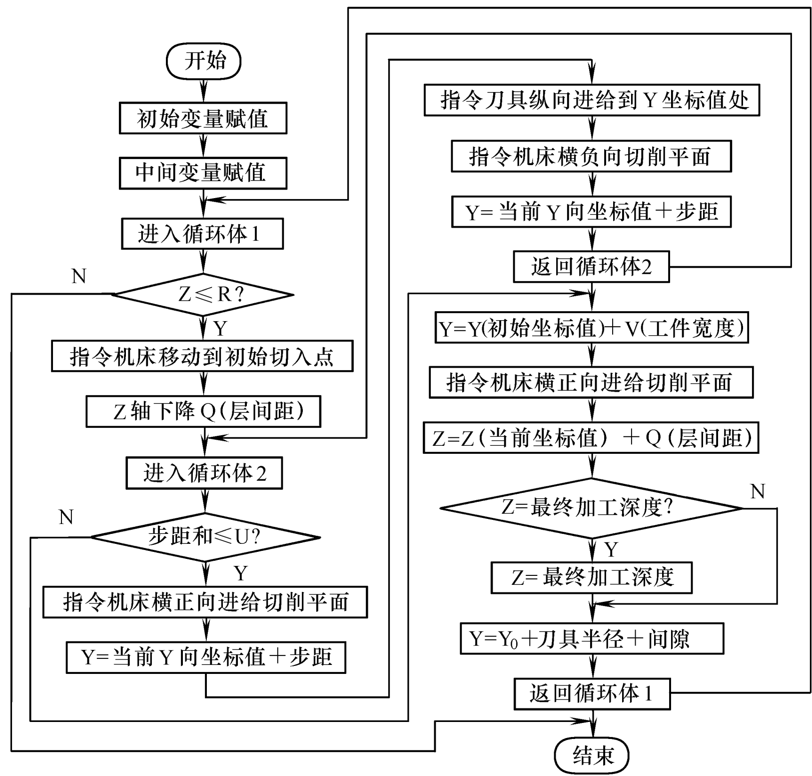


图 3-21 长方形零件平面双向铣削用户宏程序结构流程框图

```
O3312;文件名
%3312;宏程序号
N010  #27 = #23 - [#2 + #3];刀具起刀点的 X 绝对坐标值[X0 - (C + D)]
      #28 = #24 + #3 * [2 * #5 - 1];刀具起刀点的 Y 绝对坐标值(Y0 + 2DE - D)
      #29 = #17 + #10 - #16;刀具首次等高背吃刀量
      #30 = #28;将刀具起刀点的 Y 绝对坐标值赋给中间变量#30
      #14 = 2 * #3 * #4;Y 方向移动步距 2DE
N015  WHILE #29GT#25;当#29 小于或等于#25 时,程序跳转到 N120 程序段
N020  #12 = #14;将 Y 方向移动步距赋给中间变量#12
N025  G00  X[#27]  Y[#28];指令刀具快速移动至工件左下角处 X = X0 - (C + D),Y
                                    = Y0 + D(2E - 1)
N030  Z[#17];刀具快速下降到工件毛坯表面
N035  G01  Z[#29]  F[#5/2];刀具以工进速度等高下降 Q(Z = R + K - Q)
N040  WHILE #12LE#21 ;当#12 大于#21 时,程序跳转到 N100 程序段
N045  G01  X[#20 + #2 + #3 + #23]  F[#5];刀具从工件左侧向右侧直线插补
N055  #12 = #12 + #14;移动步距均值增加
N060  IF #12LE#21;如果#12 大于#21 时,程序跳转到 N100 程序段
N065  #28 = #28 + #14;Y 方向移动步距等距叠加
N070  Y[#28];变量(Y 方向移动步距 2DE)叠加
N075  G01  X[#27]  F[#5];刀具以工进速度从工件右侧向左侧直线插补
N080  #12 = #12 + #14;移动步距均值增加
N085  #28 = #28 + #14;Y 方向移动步距等距叠加
N090  G00  Y[#28];刀具在 Y 方向快速移动一个步距
N095  ENDIF;条件满足,结束循环,执行下条语句
N100  ENDW;返回循环体 2
N105  #29 = #29 - #16;中间变量(背吃刀量)再减去一个等高量
      #28 = #30;将中间变量#30 重新赋给#28(刀具起刀点的 Y 绝对坐标值)
N110  G00  G90  Z[#17 + 5];刀具快速上升到工件毛坯表面上 5mm 处
N115  ENDW;返回循环体
N120  #29 = #26;将最终加工深度赋给中间变量#29,开始进行平面精加工
      #28 = #30;恢复刀具起刀点的 Y 绝对坐标的初始值
      #12 = #14;Y 方向移动步距均值(2DE)赋给中间变量#12
N125  G00 X[#27] Y[#28];指令刀具快速移动至工件左侧下刀处,准备精加工
N130  Z[#17];刀具快速下降到工件毛坯表面
N135  G01  Z[#29]  F[#5/2];刀具以工进速度下降至最终加工深度
N140  WHILE #12LE#21;当#12 大于#21 时,程序跳转到 N200 程序段
N145  G01  X[#20 + #2 + #3 + #23]  F[#9];刀具从工件左侧向右侧直线插补
N150  #12 = #12 + #14;变量(Y 方向移动步距 2DE)叠加
N155  IF #12LE#21 ;如果#12 大于#21 时,程序跳转到 N195 程序段
```

N160 #28 = #28 + #14;Y 方向移动步距等距叠加
N165 Y[#28];变量(Y 方向移动步距 2DE)叠加
N170 G01 X[#27] F[#5];刀具以工进速度从工件右侧向左侧直线插补
N175 #12 = #12 + #14;移动步距均值增加
N180 #28 = #28 + #14;Y 方向移动步距等距叠加
N185 G00 Y[#28];刀具在 Y 方向快速移动一个步距
N190 ENDIF;条件满足,结束循环,执行下条语句
N195 ENDW;返回循环体
N200 Z[#18 + 5];刀具快速上升到工件毛坯表面上 5mm 处
N205 G00 Z[#18 + 50];刀具快速上升离开工件
N210 M99;宏子程序结束,并返回主程序

2. SINUMERIK 802D 系统对长方形零件平面双向铣削的用户 R 参数程序

R 参数含义:

R24 = X_0 ; X_0—工件左下角的 X 绝对坐标值
R25 = Y_0 ; Y_0—工件左下角的 Y 绝对坐标值
R26 = Z ; Z—垂直（Z）方向最终加工深度尺寸值
R18 = R ; R—刀具起始加工深度及快速接近点坐标绝对值
R21 = U ; U—工件横（X）向长度
R22 = V ; V—工件纵（Y）向长度
R7 = D ; D—刀具半径
R9 = F ; F—切削进给速度
R8 = E ; E—有效切削刀具百分比（E≤1）
R3 = C ; C—间隙
R6 = K ; K—精加工余量
R17 = Q ; Q—Z 轴每次下降深度

FZG3312. SPF; R 参数程序名
N010 R27 = R24 – [R3 + R7]; 刀具起刀点的 X 绝对坐标值 [X_0 – (C + D)]
R28 = R25 + R7 * [2 * R8 – 1]; 刀具起刀点的 Y 绝对坐标值（Y_0 + 2DE – D）
R29 = R18 + R6 – R17; 刀具首次等高背吃刀量
R30 = R28; 将刀具起刀点的 Y 绝对坐标值赋给中间变量 R30
R14 = 2 * R7 * R8; Y 方向移动步距 2DE
N015 MARKE1: R12 = R14; 将 Y 方向移动步距赋给中间变量 R12
N020 G00 X = R27 Y = R28
;指令刀具快速移动至工件左下角处 X = X_0 – (C + D), Y = Y_0 + D(2E – 1)
N025 Z = R18; 刀具快速下降到工件毛坯表面
N030 G01 Z = R29 F = R9/2; 刀具以工进速度等高下降 Q（Z = R + K – Q）
N035 MARKE2: G01 X = R21 + R3 + R7 + R24 F = R9; 刀具从工件左侧向右侧直线插补
N040 R12 = R12 + R14; 移动步距均值增加

N045　IF R12 >= R22　GOTOF　MARKE5；当 R12 大于或等于 R22 时，程序跳转到 MARKE5
N055　R28 = R28 + R14；Y 方向移动步距等距叠加
N060　G00　Y = R28；变量（Y 方向移动步距 2DE）叠加
N065　G01　X = R27　F = R9；刀具以工进速度从工件右侧向左侧直线插补
N070　R12 = R12 + R14；移动步距均值增加
N075　R28 = R28 + R14；Y 方向移动步距等距叠加
N080　G00　Y = R28；刀具在 Y 方向快速移动一个步距
N085　IF　R12 <= R22　GOTOB　MARKE2；当 R12 小于或等于 R22 时，程序跳转到 MARKE2
N090　MARKE5：R29 = R29 − R17；中间变量（背吃刀量）再减去一个等高量
　　　R28 = R30；将中间变量 R30 重新赋给 R28（刀具起刀点的 Y 绝对坐标值）
N095　G00　G90　Z = R18 + 5；刀具快速上升到工件毛坯表面上 5mm 处
N100　IF　R29 >= R26　GOTOB　MARKE1；当 R29 大于或等于 R26 时，程序跳转到 MARKE1
N105　R29 = R26；将最终加工深度赋给中间变量#29，开始进行平面精加工
　　　R28 = R30；恢复刀具起刀点的 Y 绝对坐标的初始值
　　　R12 = R14；Y 方向移动步距均值（2DE）赋给中间变量 R12
N110　G00　X = R27　Y = R28；指令刀具快速移动至工件左侧下刀处，准备精加工
N115　Z = R18；刀具快速下降到工件毛坯表面
N120　G01　Z = R29　F = R9/2；刀具以工进速度下降至最终加工深度
N125　MARKE3：G01　X = R21 + R3 + R7 + R24　F = R9；刀具从工件左侧向右侧直线插补
N130　R12 = R12 + R14；变量（Y 方向移动步距 2DE）叠加
N135　IF R12 >= R22　GOTOF　MARKE6；当 R12 大于或等于 R22 时，程序跳转到 MARKE6
N140　R28 = R28 + R14；Y 方向移动步距等距叠加
N145　G00　Y = R28；变量（Y 方向移动步距 2DE）叠加
N150　G01　X = R27　F = R9；刀具以工进速度从工件右侧向左侧直线插补
N155　R12 = R12 + R14；移动步距均值增加
N160　R28 = R28 + R14；Y 方向移动步距等距叠加
N165　G00　Y = R28；刀具在 Y 方向快速移动一个步距
N170　IF R12 <= R22　GOTOB　MARKE3；当 R12 小于或等于 R22 时，程序跳转到 MARKE3
N175　MARKE6：Z = R18 + 5；刀具快速上升到工件毛坯表面上 5mm 处
N180　G00　Z = R18 + 50；刀具快速上升离开工件
N185　RET；R 参数子程序结束并返回主程序

3. FANUC 0i 系统对长方形零件平面双向铣削的用户宏程序

自变量含义：

```
#24 = X0   ; X0—工件左下角的 X 绝对坐标值
#25 = Y0   ; Y0—工件左下角的 Y 绝对坐标值
#26 = Z    ; Z—垂直（Z）方向最终加工深度尺寸值
#18 = R    ; R—刀具起始加工深度及快速接近点坐标绝对值
#21 = U    ; U—工件横（X）向长度
#22 = V    ; V—工件纵（Y）向长度
#7 = D     ; D—刀具半径
#9 = F     ; F—切削进给速度
#8 = E     ; E—有效切削刀具百分比（E≤1）
#3 = C     ; C—间隙
#6 = K     ; K—精加工余量
#17 = Q    ; Q—Z 轴每次下降深度
O3312；宏程序名
N010  # 27 = # 24 - [#3 + #7];刀具起刀点的 X 绝对坐标值[X0 - (C + D)]
      #28 = #25 + #7 * [2 * #8 - 1]；刀具起刀点的 Y 绝对坐标值（Y0 +2DE - D）
      #29 = #18 + #6 - #17；刀具首次等高背吃刀量
      #30 = #28；将刀具起刀点的 Y 绝对坐标值赋给中间变量#30
      #14 = 2 * #7 * #8；Y 方向移动步距 2DE
N015  WHILE [#29GT#26] DO1；当#29 小于或等于#26 时，程序跳转到 N115 程序段
N020  #12 = #14；将 Y 方向移动步距赋给中间变量#12
N025  G00  X#27  Y#28
          ；指令刀具快速移动至工件左下角处 X = X0 - (C + D), Y = Y0 + D(2E - 1)
N030  Z#18；刀具快速下降到工件毛坯表面
N035  G01  Z#29  F [#9/2]；刀具以工进速度等高下降 Q（Z = R + K - Q）
N040  WHILE [#12LE#22]  DO2；当#12 大于#22 时，程序跳转到 N100 程序段
N045  G01  X [#21 + #3 + #7 + #24]  F#9；刀具从工件左侧向右侧直线插补
N055  #12 = #12 + #14；移动步距均值增加
N060  IF [#12GT#22]  GOTO100；如果#12 大于#22 时，程序转移到 N100 程序段
N065  #28 = #28 + #14；Y 方向移动步距等距叠加
N070  G00  Y#28；变量（Y 方向移动步距 2DE）叠加
N075  G01  X#27  F#9；刀具以工进速度从工件右侧向左侧直线插补
N080  #12 = #12 + #14；移动步距均值增加
N085  #28 = #28 + #14；Y 方向移动步距等距叠加
N090  G00  Y#28；刀具在 Y 方向快速移动一个步距
N095  END2；返回循环体 2
N100  #29 = #29 - #17；中间变量（背吃刀量）再减去一个等高量
      #28 = #30；将中间变量#30 重新赋给#28（刀具起刀点的 Y 绝对坐标值）
N105  G00  G90  Z [#18 +5]；刀具快速上升到工件毛坯表面上 5mm 处
N110  END1；返回循环体 1
```

N115　#29 = #26；将最终加工深度赋给中间变量#29，开始进行平面精加工
　　　#28 = #30；恢复刀具起刀点的 Y 绝对坐标的初始值
　　　#12 = #14；Y 方向移动步距均值（2DE）赋给中间变量#12
N120　G00　X#27　Y#28；指令刀具快速移动至工件左侧下刀处，准备精加工
N125　Z#18；刀具快速下降到工件毛坯表面
N130　G01　Z#29　F [#9/2]；刀具以工进速度下降至最终加工深度
N135　WHILE [#12LE#22]　DO3；当#12 大于#22 时，程序跳转到 N190 程序段
N140　G01　X [#21 + #3 + #7 + #24]　F#9；刀具从工件左侧向右直线插补
N145　#12 = #12 + #14；变量（Y 方向移动步距 2DE）叠加
N150　IF [#12GT#22]　GOTO190；如果#12 大于#22 时，程序转移到 N190 程序段
N155　#28 = #28 + #14；Y 方向移动步距等距叠加
N160　G00　Y#28；变量（Y 方向移动步距 2DE）叠加
N165　G01　X#27　F#9；刀具以工进速度从工件右侧向左侧直线插补
N170　#12 = #12 + #14；变量（Y 方向移动步距 2DE）叠加
N175　#28 = #28 + #14；Y 方向移动步距等距叠加
N180　G00　Y#28；刀具在 Y 方向快速移动一个步距
N185　END3；返回循环体
N190　Z [#18 + 5]；刀具快速上升到工件毛坯表面上 5mm 处
N195　G00　Z [#18 + 50]；刀具快速上升离开工件
N200　M99；宏子程序结束并返回主程序

注意：

1）U、V 值必须大于 0。
2）有效切削刀具直径百分比应小于 1。
3）间隙量 C 不能小于 0。
4）精加工余量 K 不能大于 Q。
5）每层加工深度 Q 不能大于总加工厚度 R – Z。
6）刀具半径值 D 必须大于 0。
7）刀具半径补偿指令（G40、G42、G40）没有被使用。
8）精加工时，在操作面板上手动调整主轴和进给倍率开关。

4. 编程实例

图 3-22 所示一长方形零件，长 300.0mm，宽 200.0mm；要求对该零件平面进行铣削。

解：

（1）工艺设计　建立工件坐标系，工件左下角离开工件坐标系 X、Y 轴零点的绝对坐标为（30，20），工件表面离开坐标系 Z 轴零点的绝对坐标值为 5.0mm，机床坐标系偏置值设置在 G54 寄存器中。

采用双向铣削方式铣削平面，选择 ϕ80mm 的硬质合金面铣刀，取主轴转速为 600r/min，铣削进给速度为 350mm/min；假设切削厚度为 5.0mm，分层切削，每次粗加工深度为 2.0mm，精加工余量为 1.0mm，主轴起始位置在零件上方 50.0mm 处，刀具起始切削高度为 5.0mm，最终加工位置为 Z0.0mm。有效切削刀具直径百分比为 0.75，间隙取 5.0mm。

（2）参考程序

1）HNC—21/22M 华中世纪星数控系统。

O××××；文件名

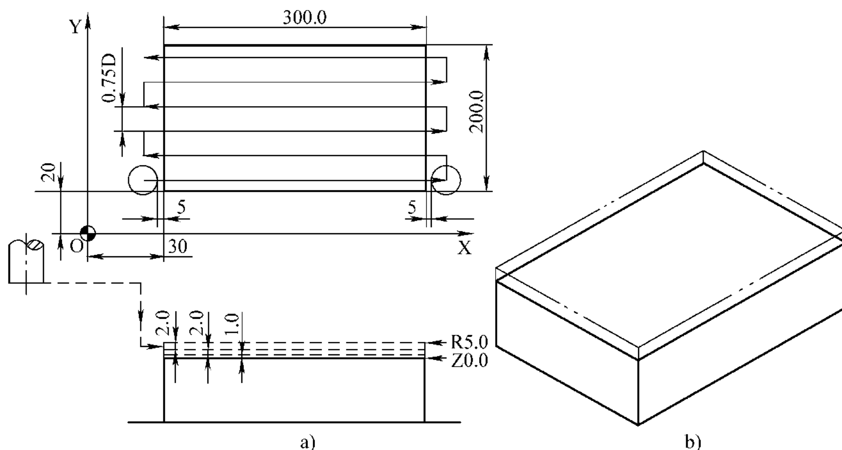


图 3-22　长方形零件平面双向铣削编程实例走刀路线示意图
a）长方形零件平面双向铣削编程实例尺寸图　b）效果图

%3322；程序号

N10　T01　M06；调用 1 号刀

N15　G17　G90　G21　G94　G54　G40　G49　G80；工艺加工状态设置

N20　G43　G00　Z50.0　H01　S600　M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为 600r/min

N25　X0.0　Y0.0　M07；刀具快速移动到工件坐标零点，打开切削液

N30　M98　P3312　X30.0　Y20.0　Z0.0　R5.0　U300.0　V200.0　D40.0　F350.0　E0.75　C5.0　K1.0　Q2.0；调用长方形零件平面双向铣削的用户宏程序

N35　G00　Z100.0　M09；刀具退到工件上表面 100mm 处，切削液关闭

N40　G49；取消刀具长度补偿

N45　X0　Y0　M05；刀具退回工件坐标零点，主轴停止

N50　M30；程序结束并返回程序开头

2）SINUMERIK 802D 数控系统。

FZG×××××；主程序名

N05　R24＝30.0　R25＝20.0　R26＝0.0　R18＝5.0　R21＝300.0　R22＝200.0　R7＝40.0　R9＝350.0　R8＝0.75　R3＝5.0　R6＝1.0　R17＝2.0；参数设置

N10　T1　D1；调用 1 号刀，1 号刀补

N15　G17　G90　G71　G94　G54　G40；工艺加工状态设置

N20　G00　Z50.0　S600　M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为 600r/min

N25　X0.0　Y0.0　M07；刀具快速移动到工件坐标零点，打开切削液

N30　L3312；调用长方形零件平面双向铣削的用户 R 参数子程序

N35　G00　Z100.0　M09；刀具退到工件上表面 100mm 处，切削液关闭

N40　X0　Y0　M05；刀具退回工件坐标零点，主轴停止

N45　M02；程序结束并返回程序开头

3）FANUC 0i 数控系统。

O××××；主程序名

N10　T01　M06；调用 1 号刀

N15　G17　G90　G54　G40　G49　G80；工艺加工状态设置

N20　G43　G00　Z50.0　H01　S600　M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为 600r/min

N25　X0.0　Y0.0　M08；刀具快速移动到工件坐标零点，打开切削液

N30　G65　P3312　X30.0　Y20.0　Z0.0　R5.0　U300.0　V200.0　D40.0　F350.0　E0.75　C5.0　K1.0　Q2.0　；调用长方形零件平面双向铣削的用户宏程序

N35　G00　Z100.0　M09；刀具退到工件上表面 100mm 处，切削液关闭

N40　G49；取消刀具长度补偿

N45　X0　Y0　M05；刀具退回工件坐标零点，主轴停止

N50　M30；程序结束并返回程序开头

3.3.1.3　圆形零件平面的双向铣削宏程序编程

编制一个通用类宏程序，铣削加工图 3-23 所示圆形零件平面，采用双向铣削平面的走刀路线，假设 X_0 为工件圆弧中心的横坐标绝对值，Y_0 为工件圆弧中心的纵坐标绝对值，Z 为垂向最终加工深度，R 为刀具起始加工深度及快速接近点坐标绝对值，I 为圆形零件外轮廓半径，D 为加工零件的刀具半径，E 为有效切削刀具直径百分比（E≤1），C 为间隙（C≥刀具半径），K 为精加工余量，Q 为每层加工深度（Q = R − Z + K）。

由图 3-23 分析，可画出该宏程序的结构流程框图，如图 3-24 所示。

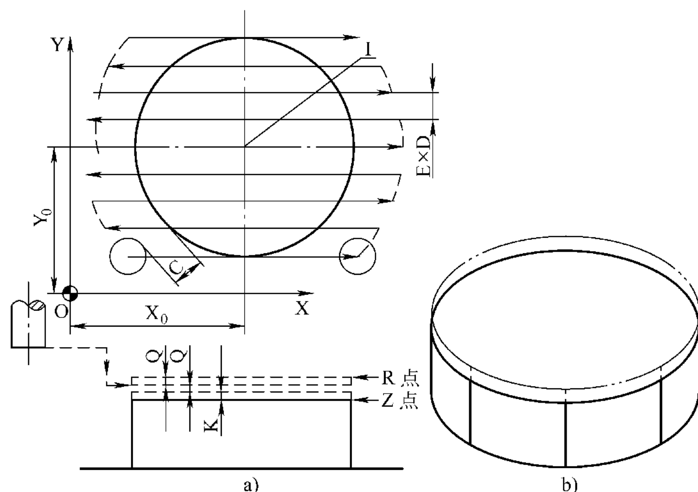


图 3-23　圆形零件平面双向铣削走刀路线示意图

a）圆形零件平面双向铣削示意图　b）效果图

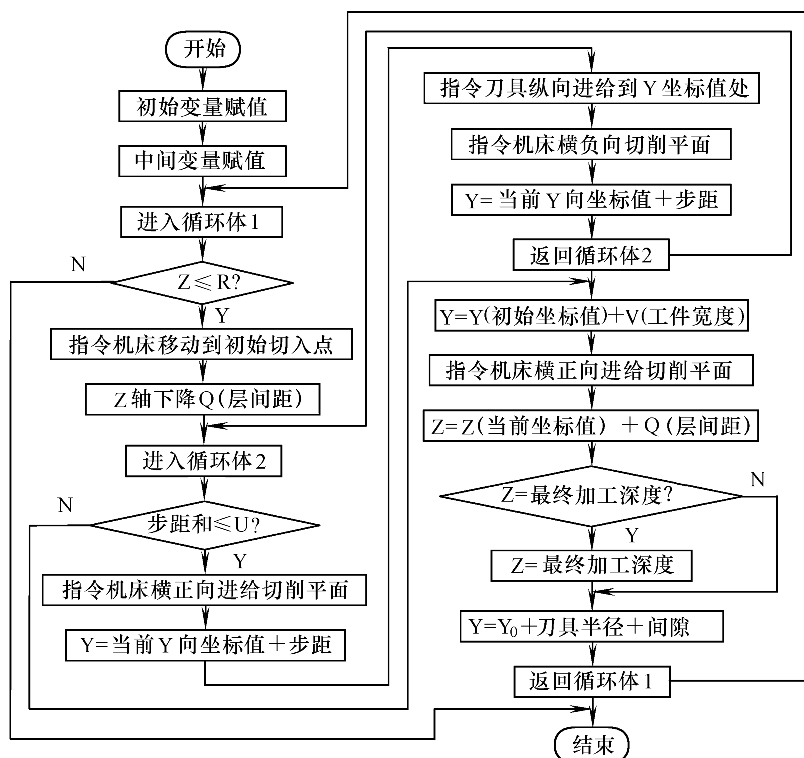


图 3-24　圆形零件平面双向铣削用户宏程序结构流程框图

1. HNC—21/22M 华中世纪星数控系统对圆形零件平面双向铣削的用户宏程序

局部变量含义：

#23 = X_0；X_0—圆形零件圆弧中心的 X 绝对坐标值

#24 = Y_0；Y_0—圆形零件圆弧中心的 Y 绝对坐标值

#25 = Z；Z—垂直（Z）方向最终加工深度

#17 = R；R—起始加工深度及快速接近点

#8 = I　；I—圆形零件的外轮廓半径

#3 = D；D—刀具半径

#5 = F　；F—切削进给速度

#4 = E；E—有效切削刀具百分比（#8≤1）

#2 = C；C—间隙

#10 = K；K—精加工余量

#16 = Q；Q—Z 轴每次下降深度

O3313；宏程序号

N010　#12 = #8 + #2 + #3；刀具起刀点的 X 绝对坐标值(I + C + D)

#14 = 2 * #3 * #4；Y 方向移动步距 2DE

#27 = #14；将刀具移动步距赋给中间变量#27

#28 = [#24 - #8] + #3 * [2 * #4 - 1]；刀具起刀点的 Y 绝对坐标值［（Y_0 - I）+ 2DE - D］

```
      #29 = #17 - #16；刀具首次等高背吃刀量 R - Q
      #30 = #28；将刀具起刀点的 Y 绝对坐标值赋给中间变量#30
N015  WHILE  #29GT#25；当#29 小于或等于#26 时，程度跳转到 N140 程序段
N020  #28 = #30；将中间变量#30 的值赋给#28
N025  #18 = #23 - SQRT[#12 * #12 - [#28 - #24] * [#28 - #24]]；工件左侧起刀点横坐标计算
N030  G00  G90  X[#18]  Y[#28]；刀具快速移至起刀点
N035  Z[#17]；刀具快速下降接近工件
N040  G01  Z[#29]  F[#5/2]；刀具以工进速度等高下降一个 Q
N045  WHILE  #27LE[#24 + #8]；当#27 大于[#24 + #8]时，程序跳转到 N128 程序段
N050  #15 = #23 + SQRT[#12 * #12 - [#28 - #24] * [#28 - #24]]；工件右侧横坐标绝对值计算
N055  G01  X[#15]  F[#5]；刀具从工件左侧直线插补到右侧
N060  #27 = #27 + #14；变量（Y 方向移动步距 2DE）叠加
N065  IF  #27GT[#24 + #8]；当#27 大于[#24 + #8]时，程序跳转到 N125 程序段
N070  #28 = #28 + #14；步距等量增加
N075  #15 = #23 + SQRT[#12 * #12 - [#28 - #24] * [#28 - #24]]；工件右侧横坐标绝对值变化计算
N080  G00  X[#15]  Y[#28]；刀具直线插补到下一起刀点
N085  #18 = #23 - SQRT[#12 * #12 - [#28 - #24] * [#28 - #24]]；工件左侧横坐标绝对值变化计算
N090  G01  X[#18]  F[#5]；工件从右侧直线插补到工件左侧
N095  #27 = #27 + #14；变量（Y 方向移动步距 2DE）叠加
N100  IF  #27GT[#24 + #8]；当#27 大于[#24 + #8]时，程序跳转到 N125 程序段
N105  #28 = #28 + #14；步距等量增加
N110  #18 = #23 - SQRT[#12 * #12 - [#28 - #24] * [#28 - #24]]；工件左侧横坐标绝对值变化计算
N115  G00  X[#18]  Y[#28]；刀具直线插补到下一起刀点
N120  ENDIF；
N125  ENDW；循环结束
N128  G00  Z[#17 + 5]；刀具快速上升到工件毛坯表面上 5mm 处
N130  #29 = #29 - #16；刀具下降深度变化一个 Q
N135  ENDW；循环结束
N140  #29 = #25；最终加工深度赋值给中间变量
N145  #28 = #30；起刀点纵坐标赋值
      #27 = #14；Y 向步距赋值
N150  #18 = #23 - SQRT[#12 * #12 - [#28 - #24] * [#28 - #24]]；工件左侧起刀点横坐标计算
N155  G00  G90  X#18  Y#28；刀具快速移至起刀点
```

```
N160  Z[#17]；刀具快速下降接近工件
N165  G01  Z[#29]  F[#5/2]；刀具以工进速度下降到最终加工深度
N170  WHILE  #27LE[#24+#8]；当#27 大于[#24+#8]时，程序跳转到 N250 程序段
N175  #15=#23+SQRT[#12*#12-[#28-#24]*[#28-#24]]；工件右侧横坐标绝对值计算
N180  G01  X[#15]  F[#5]；刀具从工件左侧直线插补到右侧
N185  #27=#27+#14；变量（Y 方向移动步距 2DE）叠加
N190  IF  #27GT[#24+#8]；当#27 大于[#25+#4]时，程序跳转到 N250 程序段
N195  #28=#28+#14；步距等量增加
N200  #15=#23+SQRT[#12*#12-[#28-#24]*[#28-#24]]；工件右侧横坐标绝对值变化计算
N205  G00  X[#15]  Y[#28]；刀具直线插补到下一起刀点
N210  #18=#23-SQRT[#12*#12-[#28-#24]*[#28-#24]]；工件左侧横坐标绝对值变化计算
N215  G01  X[#18]  F[#5]；工件从右侧直线插补到工件左侧
N220  #27=#27+#14；变量（Y 方向移动步距 2DE）叠加
N225  IF  #27GT[#24+#8]；当#27 大于[#25+#4]时，程序跳转到 N250 程序段
N230  #28=#28+#14；步距等量增加
N235  #18=#23-SQRT[#12*#12-[#28-#24]*[#28-#24]]；工件左侧横坐标绝对值变化计算
N240  G00  X[#18]  Y[#28]；刀具直线插补到下一起刀点
N245  ENDIF；
N250  ENDW；循环结束
N250  Z[#17+5]；刀具快速上升到工件毛坯表面上 5mm 处
N255  G00  Z[#17+50]；刀具快速上升离开工件
N260  M99；宏子程序结束并返回主程序
```

2. SINUMERIK 802D 数控系统对圆形零件平面双向铣削的用户 R 参数程序

R 参数含义：

R24 = X_0；X_0—圆形零件圆弧中心的 X 绝对坐标值

R25 = Y_0；Y_0—圆形零件圆弧中心的 Y 绝对坐标值

R26 = Z；Z—垂直（Z）方向最终加工深度

R18 = R；R—起始加工深度及快速接近点

R4 = I；I—圆形零件的外轮廓半径

R7 = D；D—刀具半径

R9 = F；F—切削进给速度

R8 = E；E—有效切削刀具百分比（R8≤1）

R3 = C；C—间隙

R6 = K；K—精加工余量

R17 = Q；Q—Z 轴每次下降深度

```
L3313；R 参数程序名
N010  R12 = R4 + R3 + R7；刀具起刀点的 X 绝对坐标值(I + C + D)
      R14 = 2 * R7 * R8；Y 方向移动步距 2DE 赋值
      R27 = R14；将刀具移动步距赋给中间变量#27
      R28 = [R25 - R4] + R7 * [2 * R8 - 1]；刀具起刀点的 Y 绝对坐标值 [ (Y0 - I)
                                                        + 2DE - D]
      R29 = R18 - R17；刀具首次等高背吃刀量 R - Q
      R30 = R28；将刀具起刀点的 Y 绝对坐标值赋给中间变量 R30
N015  MARKE1：R28 = R30；将中间变量 R30 的值赋给 R28
N020  R16 = R24 - SQRT[R12 * R12 - [R28 - R25] * [R28 - R25]]；工件左侧起刀点
                                                               横坐标计算
N025  G00  G90  X = R16  Y = R28；刀具快速移至起刀点
N030  Z = R18；刀具快速下降接近工件
N035  G01  Z = R29  F = R9/2；刀具以工进速度等高下降一个 Q
N040  MARKE2：R15 = R24 + SQRT[R12 * R12 - [R28 - R25] * [R28 - R25]]；工件右侧
                                                                      横坐标绝
                                                                      对值计算
N045  G01  X = R15  F = R9；刀具从工件左侧直线插补到右侧
N050  R27 = R27 + R14；变量（Y 方向移动步距 2DE）叠加
N055  IF  R27 > [R25 + R4]GOTOF MARKE5；当 R27 大于[R25 + R4]时，程序跳转到
                                        标志符 MARKE5N120 程序段
N060  R28 = R28 + R14；步距等量增加
N065  R15 = R24 + SQRT[R12 * R12 - [R28 - R25] * [R28 - R25]]；工件右侧横坐标
                                                               绝对值变化计算
N070  G00  X = R15  Y = R28；刀具直线插补到下一起刀点
N075  R16 = R24 - SQRT[R12 * R12 - [R28 - R25] * [R28 - R25]]；工件左侧横坐标
                                                               绝对值变化计算
N080  G01  X = R16  F = R9；工件从右侧直线插补到工件左侧
N085  R27 = R27 + R14；变量（Y 方向移动步距 2DE）叠加
N090  IF  R27 > [R25 + R4]GOTOF MARKE5；当 R27 大于[R25 + R4]时，程序跳转到
                                        标志符 MARKE5 N120 程序段
N095  #28 = #28 + #14；步距等量增加
N100  R16 = R24 - SQRT[R12 * R12 - [R28 - R25] * [R28 - R25]]；工件左侧横坐标
                                                               绝对值变化计算
N105  G00  X = R16  Y = R28；刀具直线插补到下一起刀点
N110  IF  R27 < = R25 + R4  GOTOB  MARKE2；当 R27 小于或等于[R25 + R4]时，
                                            程序跳转到标志符 MARKE2
N120  MARKE5：G00  Z = R18 + 5；刀具快速上升到工件毛坯表面上 5mm 处
N125  R29 = R29 - R17；刀具下降深度变化一个 Q
```

N130 IF R29 > R26 GOTOB MARKE1；当 R29 大于 R26 时，程序跳转到标志符 MARKE1

N135 R29 = R26；最终加工深度赋值给中间变量

N140 R28 = R30；起刀点纵坐标赋值

N145 R27 = R14；Y 向步距赋值

N150 R16 = R24 - SQRT[R12 * R12 - [R28 - R25] * [R28 - R25]]；工件左侧起刀点横坐标计算

N155 G00 G90 X = R16 Y = R28；刀具快速移至起刀点

N160 Z = R18；刀具快速下降接近工件

N165 G01 Z = R29 F = R9/2；刀具以工进速度下降到最终加工深度

N170 MARKE3：#15 = #24 + SQRT[#12 * #12 - [#28 - #25] * [#28 - #25]]；工件右侧横坐标绝对值计算

N175 G01 X = R15 F = R9；刀具从工件左侧直线插补到右侧

N180 R27 = R27 + R14；变量（Y 方向移动步距 2DE）叠加

N185 IF R27 > [R25 + R4]GOTOF MARKE6；当 R27 大于[R25 + R4]时，程序跳转到标志符 MARKE6 N250 程序段

N190 R28 = R28 + R14；步距等量增加

N195 R15 = R24 + SQRT[R12 * R12 - [R28 - R25] * [R28 - R25]]；工件右侧横坐标绝对值变化计算

N200 G00 X = R15 Y = R28；刀具直线插补到下一起刀点

N205 R16 = R24 - SQRT[R12 * R12 - [R28 - R25] * [R28 - R25]]；工件左侧横坐标绝对值变化计算

N210 G01 X = R16 F = R9；工件从右侧直线插补到工件左侧

N215 R27 = R27 + R14；变量（Y 方向移动步距 2DE）叠加

N220 IF R27 > [R25 + R4]GOTOF MARKE6；当 R27 大于[R25 + R4]时，程序跳转到标志符 MARKE6 N250 程序段

N225 R28 = R28 + R14；步距等量增加

N230 R16 = R24 - SQRT[R12 * R12 - [R28 - R25] * [R28 - R25]]；工件左侧横坐标绝对值变化计算

N235 G00 X = R16 Y = R28；刀具直线插补到下一起刀点

N240 IF R27 < = [R25 + R4] GOTOB MARKE3；当 R27 小于或等于[R25 + R4]时，程序跳转到标志符 MARKE3 程序段

N250 MARKE6：Z = R18 + 5；刀具快速上升到工件毛坯表面上 5mm 处

N255 G00 Z = R18 + 50；刀具快速上升离开工件

N260 RET；宏子程序结束并返回主程序

3. FANUC 0i 数控系统对圆形零件平面双向铣削的用户宏程序

自变量含义：

#24 = X_0；X_0—圆形零件圆弧中心的 X 绝对坐标值

#25 = Y_0；Y_0—圆形零件圆弧中心的 Y 绝对坐标值
#26 = Z；Z—垂直（Z）方向最终加工深度
#18 = R；R—起始加工深度及快速接近点
#4 = I；I—圆形零件的外轮廓半径
#7 = D；D—刀具半径
#9 = F；F—切削进给速度
#8 = E；E—有效切削刀具百分比（#8≤1）
#3 = C；C—间隙
#6 = K；K—精加工余量
#17 = Q；Q—Z 轴每次下降深度
O3313；宏程序名
N010　#12 = #4 + #3 + #7；刀具起刀点的 X 绝对坐标值(I + C + D)
　　#14 = 2 * #7 * #8；Y 方向移动步距 2DE
　　#27 = #14；将刀具移动步距赋给中间变量#27
　　#28 = [#25 - #4] + #7 * [2 * #8 - 1]；刀具起刀点的 Y 绝对坐标值[（Y_0 - I）+ 2DE - D]
　　#29 = #18 - #17；刀具首次等高背吃刀量 R - Q
　　#30 = #28；将刀具起刀点的 Y 绝对坐标值赋给中间变量#30
N015　WHILE　[#29GT#26]　DO1；当#29 小于#26 时，程序跳转到 N140 程序段
N020　#28 = #30；将中间变量#30 的值赋给#28
N025　#16 = #24 - SQRT[#12 * #12 - [#28 - #25] * [#28 - #25]]；工件左侧起刀点横坐标计算
N030　G00　G90　X#16　Y#28；刀具快速移至起刀点
N035　Z#18；刀具快速下降接近工件
N040　G01　Z#29　F[#9/2]；刀具以工进速度等高下降一个 Q
N045　WHILE　[#27LE[#25 + #4]]　DO2；当#27 大于（#25 + #4）时，程序跳转到 N125 程序段
N050　#15 = #24 + SQRT[#12 * #12 - [#28 - #25] * [#28 - #25]]；工件右侧横坐标绝对值计算
N055　G01　X#15　F#9；刀具从工件左侧直线插补到右侧
N060　#27 = #27 + #14；变量（Y 方向移动步距 2DE）叠加
N065　IF[#27GT[#25 + #4]]　GOTO　125；当#27 大于[#25 + #4]时，程序跳转到 N125 程序段
N070　#28 = #28 + #14；步距等量增加
N075　#15 = #24 + SQRT[#12 * #12 - [#28 - #25] * [#28 - #25]]；工件右侧横坐标绝对值变化计算
N080　G00　X#15　Y#28；刀具直线插补到下一起刀点
N085　#16 = #24 - SQRT[#12 * #12 - [#28 - #25] * [#28 - #25]]；工件左侧横坐标绝对值变化计算

```
N090  G01  X#16  F#9；工件从右侧直线插补到工件左侧
N095  #27 = #27 + #14；变量（Y 方向移动步距 2DE）叠加
N100  IF[#27GT[#25 + #4]]  GOTO 125；当#27 大于[#25 + #4]时，程序跳转到 N125
                                    程序段
N105  #28 = #28 + #14；步距等量增加
N110  #16 = #24 - SQRT[#12 * #12 - [#28 - #25] * [#28 - #25]]；工件左侧横坐标绝对
                                                              值变化计算
N115  G00  X#16  Y#28；刀具直线插补到下一起刀点
N120  END2；循环结束
N125  G00  Z[#18 + 5]；刀具快速上升到工件毛坯表面上 5mm 处
N130  #29 = #29 - #17；刀具下降深度变化一个 Q
N135  END1；循环结束
N140  #29 = #26；最终加工深度赋值给中间变量
N145  #28 = #30；起刀点纵坐标赋值
      #27 = #14；Y 向步距赋值
N150  #16 = #24 - SQRT[#12 * #12 - [#28 - #25] * [#28 - #25]]；工件左侧起刀点横坐
                                                              标计算
N155  G00  G90  X#16  Y#28；刀具快速移至起刀点
N160  Z#18；刀具快速下降接近工件
N165  G01  Z#29  F[#9/2]；刀具以工进速度下降到最终加工深度
N170  WHILE  [#27LE[#25 + #4]]  DO3；当#27 大于[#25 + #4]时，程序跳转到
                                      N250 程序段
N175  #15 = #24 + SQRT[#12 * #12 - [#28 - #25] * [#28 - #25]]；工件右侧横坐标绝对
                                                              值计算
N180  G01  X#15  F#9；刀具从工件左侧直线插补到右侧
N185  #27 = #27 + #14；变量（Y 方向移动步距 2DE）叠加
N190  IF  [#27GT[#25 + #4]]  GOTO  250；当#27 大于[#25 + #4]时，程序跳转到
                                          N250 程序段
N195  #28 = #28 + #14；步距等量增加
N200  #15 = #24 + SQRT[#12 * #12 - [#28 - #25] * [#28 - #25]]；工件右侧横坐标绝对
                                                              值变化计算
N205  G00  X#15  Y#28；刀具直线插补到下一起刀点
N210  #16 = #24 - SQRT[#12 * #12 - [#28 - #25] * [#28 - #25]]；工件左侧横坐标绝对
                                                              值变化计算
N215  G01  X#16  F#9；工件从右侧直线插补到工件左侧
N220  #27 = #27 + #14；变量（Y 方向移动步距 2DE）叠加
N225  IF[#27GT[#25 + #4]]  GOTO 250；当#27 大于[#25 + #4]时，程序跳转到 N250
                                    程序段
N230  #28 = #28 + #14；步距等量增加
```

N235　#16 = #24 - SQRT[#12 * #12 - [#28 - #25] * [#28 - #25]]；工件左侧横坐标绝对值变化计算

N240　G00　X#16　Y#28；刀具直线插补到下一起刀点

N245　END3；循环结束

N250　Z[#18 + 5]；刀具快速上升到工件毛坯表面上 5mm 处

N255　G00　Z[#18 + 50]；刀具快速上升离开工件

N260　M99；宏子程序结束并返回主程序

注意：

1）有效切削刀具直径百分比应小于 1。

2）间隙量 C 不能小于 0。

3）精加工余量 K 不能大于 Q。

4）每层加工深度 Q 不能大于总加工厚度 R - Z。

5）刀具半径值 D 必须大于 0。

6）刀具半径补偿指令（G41、G42、G40）没有被使用。

7）精加工时，在操作面板上手动调整主轴和进给倍率开关。

4. 编程实例

图 3-25 所示一圆形零件，圆形外轮廓半径 ϕ100.0mm，要求对该零件平面进行铣削。

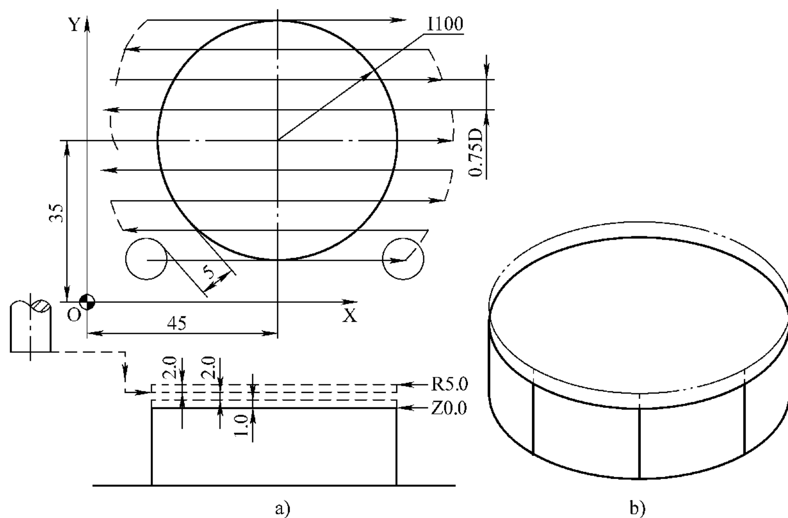


图 3-25　圆形零件平面双向铣削编程实例走刀路线示意图

a）圆形零件平面双向铣削编程实例尺寸图　b）效果图

解：

（1）工艺设计　建立工件坐标系，工件圆弧中心离开工件坐标系 X、Y 轴零点的绝对坐标为（45，35），工件表面离开坐标系 Z 轴零点的绝对坐标值为 5.0mm，机床坐标系偏置值设置在 G54 寄存器中。

采用双向铣削方式铣削平面，选择 ϕ80mm 的硬质合金面铣刀，取主轴转速为 600r/min，铣削进给速度为 350mm/min，假设切削厚度为 5.0mm，分层切削，每次粗加工深度 2.0mm，精加工余量 1.0mm，主轴起始位置在零件上方 50.0mm 处，刀具起始切削高度

5.0mm，最终加工位置 Z0.0mm，有效切削刀具直径百分比为 0.75，间隙取 5.0mm。

（2）参考程序

1）HNC—21/22M 华中世纪星数控系统。

O××××；文件名

%3313；程序号

N10 T01 M06；调用 1 号刀

N15 G17 G90 G21 G94 G54 G40 G49 G80；工艺加工状态设置

N20 G43 G00 Z50.0 H01 S600 M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为 600r/min

N25 X0.0 Y0.0 M07；刀具快速移动到工件坐标零点，打开切削液

N30 M98 P3313 X45.0 Y35.0 Z0.0 R5.0 I100.0 D40.0 F350.0 E0.75 C5.0 K1.0 Q2.0 ；调用圆形零件平面双向铣削的用户宏程序

N35 G00 Z100.0 M09；刀具退到工件上表面 100mm 处，切削液关闭

N40 G49；取消刀具长度补偿

N45 X0 Y0 M05；刀具退回工件坐标零点，主轴停止

N50 M30；程序结束并返回程序开头

2）SINUMERIK 802D 数控系统。

FZG×××××；主程序名

N05 R24 = 45.0 R25 = 35.0 R26 = 0.0 R18 = 5.0 R4 = 100.0 R7 = 40.0 R9 = 350.0 R8 = 0.75 R3 = 5.0 R6 = 1.0 R17 = 2.0 ；参数设置

N10 T1 D1；调用 1 号刀，1 号刀补

N15 G17 G90 G71 G94 G54 G40；工艺加工状态设置

N20 G00 Z50.0 S600 M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为 600r/min

N25 X0.0 Y0.0 M07；刀具快速移动到工件坐标零点，打开切削液

N30 L3313；调用圆形零件平面双向铣削的用户 R 参数子程序

N35 G00 Z100.0 M09；刀具退到工件上表面 100mm 处，切削液关闭

N40 X0 Y0 M05；刀具退回工件坐标零点，主轴停止

N45 M02；程序结束并返回程序开头

3）FANUC 0i 数控系统。

O××××；主程序名

N10 T01 M06；调用 1 号刀

N15 G17 G90 G21 G94 G54 G40 G49 G80；工艺加工状态设置

N20 G43 G00 Z50.0 H01 S600 M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为 600r/min

N25 X0.0 Y0.0 M07；刀具快速移动到工件坐标零点，打开切削液

N30 G65 P3313 X45.0 Y35.0 Z0.0 R5.0 I100.0 D40.0 F350.0 E0.75 C5.0 K1.0 Q2.0 ；调用圆形零件平面双向铣削的用户宏程序

N35 G00 Z100.0 M09；刀具退到工件上表面 100mm 处，切削液关闭

N40　G49；取消刀具长度补偿

N45　X0　Y0　M05；刀具退回工件坐标零点，主轴停止

N50　M30；程序结束并返回程序开头

3.3.2　孔系类零件宏程序编程实例

用户宏程序特别适用于有规则排列的多孔零件（点阵孔群）的数控加工，所以在数控铣或加工中心（钻削中心）上，用户宏程序得到广泛应用。

3.3.2.1　直线点阵孔群钻削宏程序编程

图 3-26 是在一矩形零件上进行一角度斜线点阵孔群钻（铣）削加工，假设共有孔 H，孔距为 U，其中 X_0 为工件上左下边第一个孔的横坐标绝对值，Y_0 为工件上左下边第一个孔的纵坐标绝对值，Z 为垂向最终加工深度，R 为刀具离开工件上表面的安全距离，B 为 X 轴与斜线的夹角。利用宏变量（或参数）编制此类零件的通用程序。

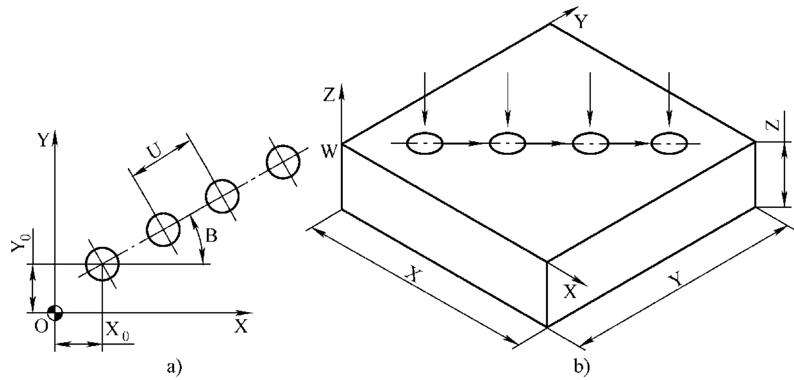


图 3-26　直线点阵孔群钻削加工刀具路线示意图

a）直线点阵孔群零件图　b）效果图

由图 3-26 分析，可画出该宏程序的结构流程框图，如图 3-27 所示。

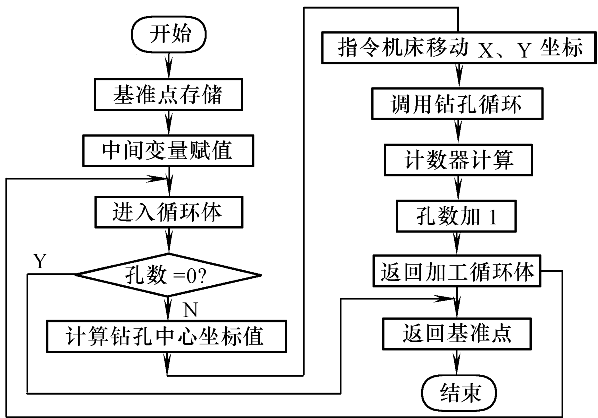


图 3-27　直线点阵孔群钻削加工用户宏程序结构流程框图

1. HNC—21/22M 华中世纪星数控系统对直线点阵孔群零件钻削的用户宏程序

局部变量含义：

#1 = X_0；X_0—工件左下角第一孔的 X 绝对坐标值
#2 = Y_0；Y_0—工件左下角第一孔的 Y 绝对坐标值
#3 = Z；Z—垂直（Z）方向孔的最终加工深度 Z 绝对坐标值
#4 = R；R—从刀具起始加工位置到工件初始平面的高度
#5 = H；H—孔数目
#6 = B；B—X 轴与斜线的角度
#7 = U；U—孔间距
#8 = F；F—切削进给速度
#9 = 1；计数器置初始值

```
%3321；宏程序号
N015  WHILE  #9LE#5；如果#9 大于#5，则跳转到 N050 程序段
N020  #101 = #1 + [#9 - 1] * #7 * COS[#6 * PI/180]；计算钻孔中心横坐标值
N025  #102 = #2 + [#9 - 1] * #7 * SIN[#6 * PI/180]；计算钻孔中心纵坐标值
N030  G00  X[#101]  Y[#102]；指令机床移动到钻孔中心
N035  G98  G81  X[#101]  Y[#102]  Z[#3]  R[#4]  F[#8]；调用钻孔循环
N040  #9 = #9 + 1；孔数加 1
N045  ENDW；返回循环体
N050  G80  G00  Z50；刀具快速抬起
N055  X[#1]  Y[#2]；返回基准点
N060  M99；宏程序结束并返回主程序
```

2. SINUMERIK 802D 数控系统对直线点阵孔群零件钻削的用户 R 参数程序

R 参数含义：

R1 = X_0；X_0—工件左下角第一孔的 X 绝对坐标值
R2 = Y_0；Y_0—工件左下角第一孔的 Y 绝对坐标值
R3 = Z；Z—垂直（Z）方向孔的最终孔加工深度 Z 绝对坐标值
R4 = R；R—从刀具起始加工位置到工件初始平面的高度
R5 = H；H—孔数目
R6 = B；B—X 轴与斜线的角度
R7 = U；U—孔间距
R8 = F；F—切削进给速度
R9 = 1；计数器置初始值

```
L3321. SPF；R 参数程序名
N020  MAREK1：R101 = R1 + [R9 - 1] * R7 * COS[R6]；计算钻孔中心横坐标值
N025  R102 = R2 + [R9 - 1] * R7 * SIN[R6]；计算钻孔中心纵坐标值
N030  G00  X = R101  Y = R102；指令机床移动到钻孔中心
N035  Z = R4；刀具快速下降到安全平面
N040  G01  Z = R3  F = R8；刀具以工进速度钻削
```

N045　G00　Z = R4；刀具快速返回到安全平面
N050　R9 = R9 + 1；孔数加 1
N055　IF　R9 < = R5　GOTO　MARKE1；如果 R9 小于或等于 R5，则程序跳转到 MARKE1
N060　G00　Z50；刀具快速抬起
N065　G00　X = R1　Y = R2；返回基准点
N070　RET；R 参数子程序结束并返回主程序

3. FANUC 0i 数控系统对直线点阵孔群零件钻削的用户宏程序

自变量含义：
#1 = X_0；X_0—工件左下角第一孔的 X 绝对坐标值
#2 = Y_0；Y_0—工件左下角第一孔的 Y 绝对坐标值
#3 = Z；Z—垂直（Z）方向孔的最终加工深度 Z 绝对坐标值
#4 = R；R—从刀具起始加工位置到工件初始平面的高度
#5 = H；H—孔数目
#6 = B；B—X 轴与斜线的角度
#7 = U；U—孔间距
#8 = F；F—切削进给速度
#9 = 1；计数器置初始值
O3321；宏程序名
N015　WHILE　[#9LE#5]　DO1；如果#9 大于#5，则程序跳转到 N050 程序段
N020　#101 = #1 + [#9 - 1] * #7 * COS[#6]；计算钻孔中心横坐标值
N025　#102 = #2 + [#9 - 1] * #7 * SIN[#6]；计算钻孔中心纵坐标值
N030　G00　X#101　Y#102；指令机床移动到钻孔中心
N035　G98　G81　Z#3　R#4　F#8；调用钻孔循环
N040　#9 = #9 + 1；孔数加 1
N045　END1；返回循环体
N050　G00　Z50；刀具快速抬起
N055　X#1　Y#2；返回基准点
N060　M99；宏程序结束并返回主程序

4. 编程举例

在铣床或加工中心上钻削图 3-28 所示线性角度线上的排孔。ϕ6. 0mm 钻头，主轴转速为 600r/min，钻孔轴进给速度为 150mm/min，钻孔深度为 15. 0mm，钻孔轴起始位置在工件上方 50. 0mm。

解：

（1）工艺设计　建立工件坐标系，工件左下角为工件坐标系 X、Y 轴的零点，工件表面为工件坐标系 Z 轴的零点，机床坐标系偏置值设置在 G54 寄存器中。

采用同向位移钻削方式钻削排孔，选择 ϕ6. 0mm 的麻花钻，取主轴转速为 600r/min，钻削进给速度为 150mm/min，主轴起始位置在零件上方 50. 0mm 处，刀具起始切削高度为 5. 0mm，最终加工深度为 Z - 20. 0mm。根据不同数控系统采用变量（或参数）直接赋值编

制宏程序。

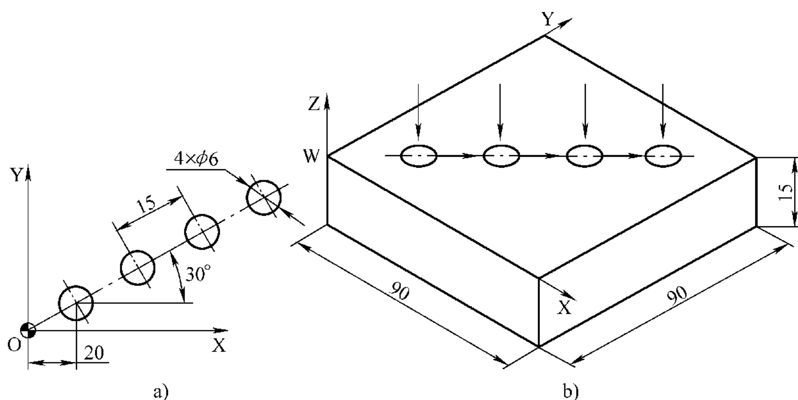


图 3-28 直线点阵孔群编程实例走刀路线图

a）直线点阵孔群编程实例尺寸图 b）效果图

（2）参考程序

1）HNC—21/22M 华中世纪星数控系统

O××××；文件名

%3321；程序号

N10 T01 M06；调用 1 号刀

N15 G17 G90 G21 G94 G54 G40 G49 G80；工艺加工状态设置

N20 G43 G00 Z50.0 H01 S600 M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为 600r/min

N25 X0.0 Y0.0 M07；刀具快速移动到工件坐标零点，打开切削液

N30 #1 = 20.0；工件左下角第一孔的 X 绝对坐标值

#2 = #1 * TAN[#6 * PI/180]；工件左下角第一孔的 Y 绝对坐标值

#3 = -20.0；垂直（Z）方向孔的最终钻削加工深度 Z 绝对坐标值

#4 = 5.0；从刀具起始加工位置到工件初始平面的高度

#5 = 4.0；孔数目

#6 = 30；X 轴与斜线的角度

#7 = 15.0；孔间距

#8 = 150.0；切削进给速度

#9 = 1；计数器置初始值

N35 M98 P3321；调用直线点阵孔群钻削的用户宏程序

N40 G00 Z100.0 M09；刀具退到工件上表面 100mm 处，切削液关闭

N45 G49；取消刀具长度补偿

N50 X0 Y0 M05；刀具退回工件坐标零点，主轴停止

N55 M30；程序结束并返回程序开头

%3321；直线点阵孔群钻削用户宏程序（见前）

⋮

M99；子程序结束，返回主程序

2）西门子 802D 数控系统

```
FZG×××××；主程序名
N05  R1 =20.0；工件左下角第一孔的 X 绝对坐标值
     R2 = R1 * TAN（R6）；工件左下角第一孔的 Y 绝对坐标值
     R3 = -20.0；垂直（Z）方向孔的最终钻削孔加工深度 Z 绝对坐标值
     R4 =5.0；从刀具起始加工位置到工件初始平面的高度
     R5 =4.0；孔数目
     R6 =30.0；X 轴与斜线的角度
     R7 =15.0；孔间距
     R8 =150.0；切削进给速度
     R9 =1；计数器置初始值
N10  T1  D1；调用 1 号刀，1 号刀补
N15  G17  G90  G71  G94  G54  G40；工艺加工状态设置
N20  G00  Z50.0  S600  M03;建立刀具长度补偿,主轴正转,转速为 600r/min
N25  X0.0  Y0.0  M07；刀具快速移动到工件坐标零点，打开切削液
N30  L3321；调用直线点阵孔群钻削的用户 R 参数程序
N35  G00  Z100.0  M09；刀具退到工件上表面 100mm 处，切削液关闭
N40  X0  Y0  M05；刀具退回工件坐标零点，主轴停止
N45  M02；程序结束并返回程序开头
L3321；直线点阵孔群钻削用户 R 参数程序（见前）
⋮
RET；R 参数子程序结束，返回主程序
```

3）FANUC　0i 数控系统

```
O××××；主程序名
N05  #1 =20.0；工件左下角第一孔的 X 绝对坐标值
     #2 =#1 * TAN[#6]；工件左下角第一孔的 Y 绝对坐标值
     #3 = -20.0；垂直（Z）方向孔的最终钻削加工深度 Z 绝对坐标值
     #4 =5.0；从刀具起始加工位置到工件初始平面的高度
     #5 =4.0；孔数目
     #6 =30；X 轴与斜线的角度
     #7 =15.0；孔间距
     #8 =150.0；切削进给速度
     #9 =1；计数器置初始值
N10  T01  M06；调用 1 号刀
N15  G17  G90  G21  G94  G54  G40  G49  G80；工艺加工状态设置
N20  G43  G00  Z50.0  H01  S600  M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为
                                        600r/min
N25  X0.0  Y0.0  M07；刀具快速移动到工件坐标零点，打开切削液
```

N30 G65 P3321；调用直线点阵孔群钻削的用户宏程序
N35 G00 Z100.0 M09；刀具退到工件上表面100mm处，切削液关闭
N40 G49；取消刀具长度补偿
N45 X0 Y0 M05；刀具退回工件坐标零点，主轴停止
N50 M30；程序结束并返回程序开头
O3321；直线点阵孔群钻削用户宏程序（见前）
⋮
M99；子程序结束，返回主程序

3.3.2.2 矩形框式点阵孔群宏程序编程

图3-29是在一零件上进行矩形框式点阵孔群钻（铣）削加工。矩形框式点阵孔群共有二行二列，假设每行孔数为H，每列孔数为M，每行孔间距为U，每列孔间距为V，其中X_0为工件左下角第一个孔的横坐标绝对值，Y_0为工件左下角第一个孔的纵坐标绝对值，Z为垂向最终加工深度，R为刀具离开工件上表面的安全距离，A为矩形框式点阵孔群起始边与X轴的夹角。

由图3-29分析，可画出该宏程序的结构流程框图，如图3-30所示。

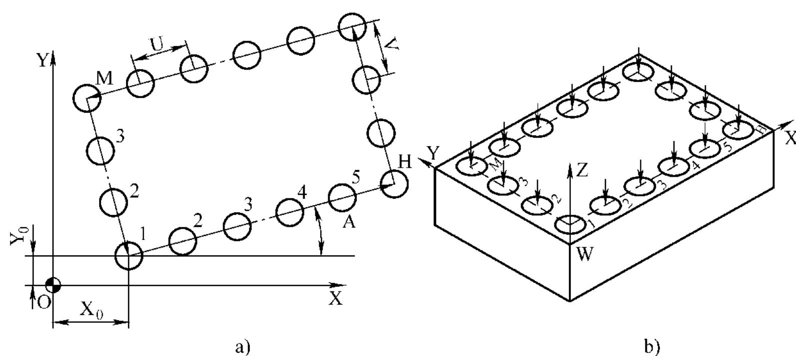


图3-29 矩形框式点阵孔群刀具路线示意图
a）矩形框式点阵孔群零件图 b）效果图

1. HNC—21/22M华中世纪星数控系统对矩形框式点阵孔群钻削的用户宏程序

局部变量含义：

#101 = X_0 ；第一个孔的X绝对坐标值
#102 = Y_0 ；第一个孔的Y绝对坐标值
#1 = #101 ；将第一个孔的X绝对坐标值赋给变量#1
#2 = #102 ；将第一个孔的Y绝对坐标值赋给变量#2
#27 = 1 ；框式点阵孔群行数初始值
#28 = 1 ；框式点阵孔群列数初始值
#29 = A ；旋转角度
#30 = H ；X轴孔数
#31 = M ；Y轴孔数
#32 = U ；X轴孔间距

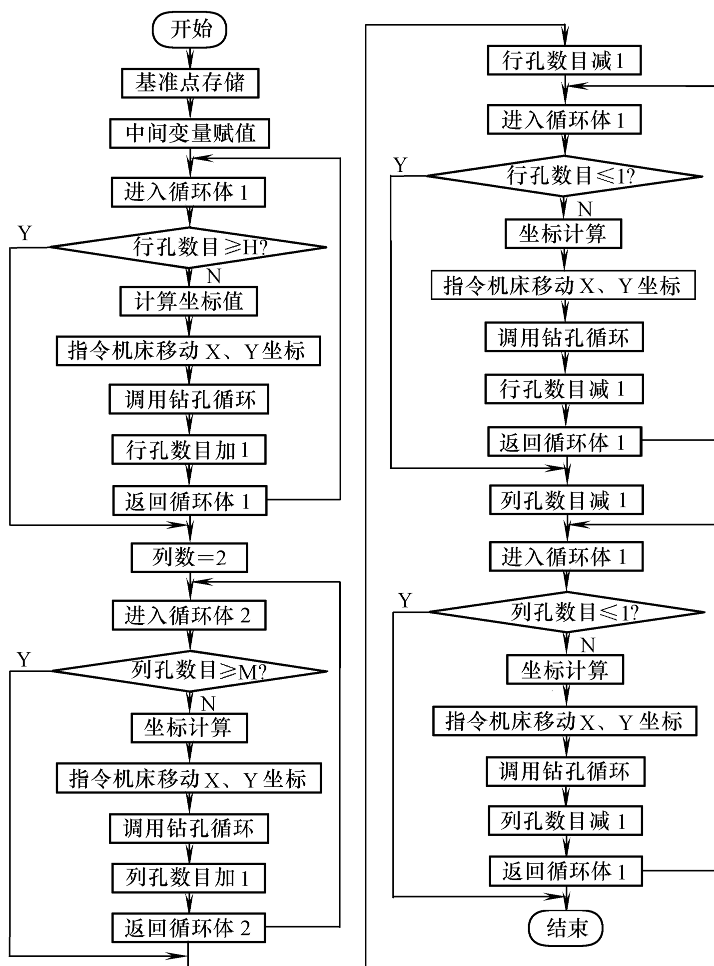


图 3-30　框式点阵孔群的宏程序结构流程框图

```
#33 = V          ;  Y 轴孔间距
#25 = Z          ;  最终钻孔深度
#17 = R          ;  安全间隙
%3322; 宏程序号
N010   WHILE   #27LE#30; 如果#27 大于#30, 则程序跳转到 N040 程序段
N020   G00   X[#101]   Y[#102]; 将刀具移动到孔上方
N025   G98   G81   Z[#25]   R[#17]   F[#5]   K0; 调用循环程序钻定位孔
N030   #101 = #1 + #32 * COS[#29 * PI/180]; 计算孔的 X 绝对坐标值
       #102 = #2 + #32 * SIN[#29 * PI/180]; 计算孔的 Y 绝对坐标值
       #1 = #101; 将 X 绝对坐标值赋给变量#1 存储
       #2 = #102; 将 Y 绝对坐标值赋给变量#2 存储
       #27 = #27 + 1; 孔数加 1
N035   ENDW; 返回循环体
```

```
N040  WHILE  #28LE#31；如果#28 大于#31，则程序跳转到 N070 程序段
N045  #101 = #1 - #33 * SIN[#29 * PI/180]；计算孔的 X 绝对坐标值
      #102 = #2 + #33 * COS[#29 * PI/180]；计算孔的 Y 绝对坐标值
N050  G00  X[#101]  Y[#102]；将刀具移动到孔上方
N055  G98  G81  Z[#25]  R[#17]  F[#5]  K0；调用循环程序钻定位孔
N060  #1 = #101；将 X 绝对坐标值赋给变量#1 存储
      #2 = #102；将 Y 绝对坐标值赋给变量#2 存储
      #28 = #28 + 1；孔数加 1
N065  ENDW；返回循环体
N070  #27 = 1；赋初始值
N075  WHILE  #27LE#30；如果#27 大于#30，则程序跳转到 N105 程序段
N080  #101 = #1 - #32 * COS[#29 * PI/180]；计算孔的 X 绝对坐标值
      #102 = #2 - #32 * SIN[#29 * PI/180]；计算孔的 Y 绝对坐标值
N085  G00  X [#101]  Y[#102]；将刀具移动到孔上方
N090  G98  G81  Z[#25]  R[#17]  F[#5]  K0；调用循环程序钻定位孔
N095  #1 = #101；将 X 绝对坐标值赋给变量#1 存储
      #2 = #102；将 Y 绝对坐标值赋给变量#2 存储
      #27 = #27 + 1；孔数加 1
N100  ENDW；返回循环体
N105  #28 = 1；赋初始值
N110  WHILE  #28LE#31；如果#28 大于#31，则程序跳转到 N140 程序段
N115  #101 = #1 + #33 * SIN[#29 * PI/180]；计算孔的 X 绝对坐标值
      #102 = #2 - #33 * COS[#29 * PI/180]；计算孔的 Y 绝对坐标值
N120  G00  X[#101]  Y[#102]；将刀具移动到孔上方
N125  G98  G81  Z[#25]  R[#17]  F[#5]  K0；调用循环程序钻定位孔
N130  #1 = #101；将 X 绝对坐标值赋给变量#1 存储
      #2 = #102；将 Y 绝对坐标值赋给变量#2 存储
      #28 = #28 + 1；孔数加 1
N135  ENDW；返回循环体
N140  G80；取消固定循环
N145  M99；子程序结束，返回主程序
```

2. SINUMERIK 802D 数控系统对矩形框式点阵孔群钻削的用户 R 参数程序

R 参数含义：

```
R101 = X0   ；第一个孔的 X 绝对坐标值
R102 = Y0   ；第一个孔的 Y 绝对坐标值
R2 = R101   ；将第一个孔的 X 绝对坐标值赋给变量 R2
R3 = R102   ；将第一个孔的 Y 绝对坐标值赋给变量 R3
R27 = 1     ；框式点阵孔群行数初始值
R28 = 1     ；框式点阵孔群列数初始值
```

```
R29 = A       ；旋转角度
R30 = H       ；X 轴孔数
R31 = M       ；Y 轴孔数
R32 = U       ；X 轴孔间距
R33 = V       ；Y 轴孔间距
RTP = 50      ；后退平面（绝对值）
REP = 0       ；参考平面（绝对值）
SDIS = R      ；安全间隙（无符号）
DP = Z        ；最终钻孔深度（绝对值）
DPR = Z       ；相当于参考平面的最后钻孔深度（无符号输入）
L3322；R 参数程序名
N015  MAREK1：G00  X = R101  Y = R102；将刀具移动到孔上方
N020  CYCL81（RTP，REP，SDIS，DP，DPR）；调用循环程序钻定位孔
N025  R101 = R2 + R32 * COS（R29）；计算孔的 X 绝对坐标值
      R102 = R3 + R32 * SIN（R29）；计算孔的 Y 绝对坐标值
      R2 = R101；将 X 绝对坐标值赋给变量 R2 存储
      R3 = R102；将 Y 绝对坐标值赋给变量 R3 存储
      R27 = R27 + 1；孔数加 1
N030  IF R27 < = R30  GOTOB  MARKE1；如果 R27 小于或等于 R30，则程序跳转到
                                      MARKE1
N035  MARKE2：R101 = R2 - R33 * SIN（R29）；计算孔的 X 绝对坐标值
              R102 = R3 + R33 * COS（R29）；计算孔的 Y 绝对坐标值
N040  G00  X = R101  Y = R102；将刀具移动到孔上方
N045  CYCL81（RTP，REP，SDIS，DP，DPR）；调用循环程序钻定位孔
N050  R2 = R101；将 X 绝对坐标值赋给变量 R2 存储
      R3 = R102；将 Y 绝对坐标值赋给变量 R3 存储
      R28 = R28 + 1；孔数加 1
N055  IF R28 < = R31 GOTOB MARKE2；如果 R28 小于或等于 R31，则程序跳转到
                                      MARKE2
N060  R27 = 1；孔数置初始值
N065  MARKE3：R101 = R2 - R32 * COS（R29）；计算孔的 X 绝对坐标值
              R102 = R3 - R32 * SIN（R29）；计算孔的 Y 绝对坐标值
N070  G00  X = R101  Y = R102；将刀具移动到孔上方
N075  CYCL81（RTP，REP，SDIS，DP，DPR）；调用循环程序钻定位孔
N080  R2 = R101；将 X 绝对坐标值赋给变量 R2 存储
      R3 = R102；将 Y 绝对坐标值赋给变量 R3 存储
      R27 = R27 + 1；孔数加 1
N085  IF  R27 < R30  GOTO  MARKE3；如果 R27 小于 R30，则程序跳转到 MARKE3
N090  R28 = 1；孔数置初始值
```

```
N095  MARKE4：R101 = R2 + R33 * SIN（R29）；计算孔的 X 绝对坐标值
              R102 = R3 - R33 * COS（R29）；计算孔的 Y 绝对坐标值
N100  G00  X = R101  Y = R102；将刀具移动到孔上方
N105  CYCL81（RTP，REP，SDIS，DP，DPR）；调用循环程序钻定位孔
N110  R2 = R101；将 X 绝对坐标值赋给变量 R2 存储
      R3 = R102；将 Y 绝对坐标值赋给变量 R3 存储
      R28 = R28 + 1；孔数加 1
N115  IF  R28 < R31  GOTO  MARKE4；如果 R28 小于 R31，则程序跳转到 MARKE4
N120  RET；程序结束并返回主程序
```

3. FANUC 0i 数控系统对矩形框式点阵孔群钻削的用户宏程序

自变量含义：

```
#101 = X0      ；第一个孔的 X 绝对坐标值
#102 = Y0      ；第一个孔的 Y 绝对坐标值
#2 = #101      ；将第一个孔的 X 绝对坐标值赋给变量#2
#3 = #102      ；将第一个孔的 Y 绝对坐标值赋给变量#3
#27 = 1        ；框式点阵孔群行数初始值
#28 = 1        ；框式点阵孔群列数初始值
#29 = A        ；旋转角度
#30 = H        ；X 轴孔数
#31 = M        ；Y 轴孔数
#32 = U        ；X 轴孔间距
#33 = V        ；Y 轴孔间距
#26 = Z        ；最终钻孔深度
#18 = R        ；安全间隙
#9 = F         ；进给速度
O3322；宏程序名
N010  WHILE［#27LE#30］ D01；如果#27 大于#30，则程序跳转到 N040 程序段
N020  G00  X#101  Y#102；将刀具移动到孔上方
N025  G98  G81  Z#26  R#18  F#9  K0；调用循环程序钻定位孔
N030  #101 = #2 + #32 * cos（#29）；计算孔的 X 绝对坐标值
      #102 = #3 + #32 * sin［#29］；计算孔的 Y 绝对坐标值
      #2 = #101；将 X 绝对坐标值赋给变量#2 存储
      #3 = #102；将 Y 绝对坐标值赋给变量#3 存储
      #27 = #27 + 1；孔数加 1
N035  END1；返回循环体
N040  WHILE［#28LE#31］ DO2；如果#28 大于#31，则程序跳转到 N070 程序段
N045  #101 = #2 - #33 * SIN[#29]；计算孔的 X 绝对坐标值
      #102 = #3 + #33 * COS[#29]；计算孔的 Y 绝对坐标值
N050  G00  X#101  Y#102；将刀具移动到孔上方
```

```
N055  G98  G81  Z#26  R#18  F#9  K0；调用循环程序钻定位孔
N060  #2 = #101；将 X 绝对坐标值赋给变量#2 存储
      #3 = #102；将 Y 绝对坐标值赋给变量#3 存储
      #28 = #28 + 1；孔数加 1
N065  END2；返回循环体
N070  #27 = 1；行孔数置初始值
N075  WHILE ［#27LE#30］ DO3；如果#27 大于#30，则程序跳转到 N105 程序段
N080  #101 = #2 - #32 * COS[#29]；计算孔的 X 绝对坐标值
      #102 = #3 - #32 * SIN[#29]；计算孔的 Y 绝对坐标值
N085  G00  X#101  Y#102；将刀具移动到孔上方
N090  G98  G81  Z#26  R#18  F#9  K0；调用循环程序钻定位孔
N095  #2 = #101；将 X 绝对坐标值赋给变量#2 存储
      #3 = #102；将 Y 绝对坐标值赋给变量#3 存储
      #27 = #27 + 1；孔数加 1
N100  END3；返回循环体
N105  #28 = 1；列孔数置初始值
N110  WHILE ［#28LE#31］ DO3；如果#28 大于#31，则程序跳转到 N140 程序段
N115  #101 = #2 + #33 * SIN[#29]；计算孔的 X 绝对坐标值
      #102 = #3 - #33 * COS[#29]；计算孔的 Y 绝对坐标值
N120  G00  X#101  Y#102；将刀具移动到孔上方
N125  G98  G81  Z#26  R#18  F#9  K0；调用循环程序钻定位孔
N130  #2 = #101；将 X 绝对坐标值赋给变量#2 存储
      #3 = #102；将 Y 绝对坐标值赋给变量#3 存储
      #28 = #28 + 1；孔数加 1
N135  END3；返回循环体
N140  G80；取消固定循环
N145  M99；子程序结束，返回主程序
```

4. 编程举例

在铣床或加工中心上钻削图 3-31 所示长方形零件上的矩形框式孔群。钻孔直径为 ϕ6mm，主轴转速为 800r/min，钻孔轴进给速度为 150mm/min，钻孔深度为 20.0mm，钻孔轴起始位置在工件上方 50.0mm。利用宏程序编制加工程序。

解：

（1）工艺设计　建立工件坐标系，工件左下角为工件坐标系 X、Y 轴的零点，工件表面为工件坐标系 Z 轴的零点，机床坐标系偏置值设置在 G54 寄存器中。

采用沿着方形零件的矩形框式孔群中心线逆时针位移钻削方式钻削孔群，选择 ϕ6mm 的麻花钻，取主轴转速为 800r/min，钻削进给速度为 150mm/min，主轴起始位置在零件上方 50.0mm 处，刀具起始切削高度 4.0mm，最终加工深度 Z－25.0mm。根据不同数控系统，运用变量（或参数）直接赋值编制宏程序。

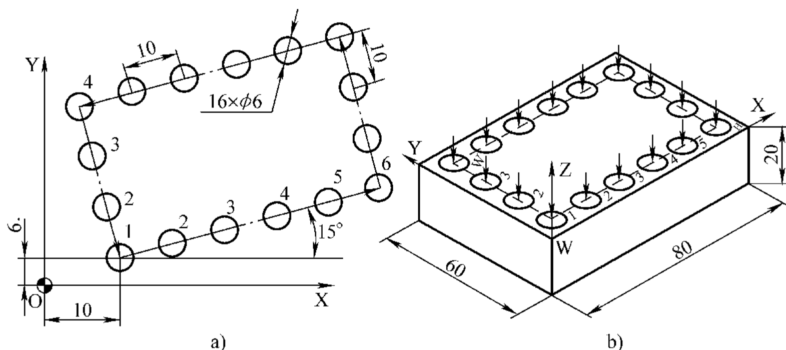


图 3-31　方形零件的矩形框式点阵孔群编程实例钻削位移路线示意图
a）方形零件的矩形框式点阵孔群编程实例零件尺寸图　b）效果图

（2）参考程序

1）HNC—21/22M 华中世纪星数控系统。

```
O××××；文件名
%3322；程序号
N10  T01  M06；调用 1 号刀
N15  G17  G90  G21  G94  G54  G40  G49  G80；工艺加工状态设置
N20  G43  G00  Z50.0  H01  S800  M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为
                                   800r/min
N25  X0.0  Y0.0  M07；刀具快速移动到工件坐标零点，打开切削液
N30  #101=10.0     ；第一个孔的 X 绝对坐标值
     #102=6.0      ；第一个孔的 Y 绝对坐标值
     #1=#101       ；将第一个孔的 X 绝对坐标值赋给变量#1
     #2=#102       ；将第一个孔的 Y 绝对坐标值赋给变量#2
     #27=1         ；框式点阵孔群行数初始值
     #28=1         ；框式点阵孔群列数初始值
     #29=15.0      ；旋转角度
     #30=6         ；X 轴孔数
     #31=4         ；Y 轴孔数
     #32=10        ；X 轴孔间距
     #33=10        ；Y 轴孔间距
     #25=-25.0     ；最终钻孔深度
     #17=4.0       ；安全间隙
     #5=150.0      ；进给速度
N35  M98  P3322；调用矩形框式点阵孔群钻削的用户宏程序
N40  G00  Z100.0  M09；刀具退到工件上表面 100mm 处，切削液关闭
N45  G49；取消刀具长度补偿
N50  X0  Y0  M05；刀具退回工件坐标零点，主轴停止
N55  M30；程序结束并返回程序开头
```

%3322；矩形框式点阵孔群钻削用户宏程序（见前）
⋮
M99；子程序结束，返回主程序

2）SINUMERIK 802D 数控系统。

```
FZG×××××；主程序名
N005  R101=10.0；第一个孔的X绝对坐标值
      R102=6.0；第一个孔的Y绝对坐标值
      R2=R101；将第一个孔的X绝对坐标值赋给变量R2
      R3=R102；将第一个孔的Y绝对坐标值赋给变量R3
      R27=1；框式点阵孔群行数初始值
      R28=1；框式点阵孔群列数初始值
      R29=15.0；旋转角度
      R30=6.0；X轴孔数
      R31=4.0；Y轴孔数
      R32=10.0；X轴孔间距
      R33=10.0；Y轴孔间距
      RTP=50.0；后退平面（绝对值）
      REP=0；参考平面（绝对值）
      SDIS=3；安全间隙（无符号）
      DP=-25.0；最终钻孔深度（绝对值）
      DPR=0；相当于参考平面的最后钻孔深度（无符号）
N010  T1  D1；调用1号刀，1号刀补
N015  G17  G90  G71  G94  G54  G40；工艺加工状态设置
N020  G00  Z50.0  S600  M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为600r/min
N025  X0.0  Y0.0  M07；刀具快速移动到工件坐标零点，打开切削液
N030  L3322；调用矩形框式点阵孔群钻削的用户R参数程序
N035  G00  Z100.0  M09；刀具退到工件上表面100mm处，切削液关闭
N040  X0  Y0  M05  D0；刀具退回工件坐标零点，主轴停止
N045  M02；程序结束并返回程序开头
L3322；矩形框式点阵孔群钻削用户R参数程序（见前）
⋮
RET；子程序结束，返回主程序
```

3）FANUC 0i 数控系统。

```
O××××；主程序名
N005  #101=10.0    ；第一个孔的X绝对坐标值
      #102=6.0     ；第一个孔的Y绝对坐标值
      #2=#101      ；将第一个孔的X绝对坐标值赋给变量#2
      #3=#102      ；将第一个孔的Y绝对坐标值赋给变量#3
      #27=1        ；框式点阵孔群行数初始值
```

```
        #28 = 1          ；框式点阵孔群列数初始值
        #29 = 15.0       ；旋转角度
        #30 = 6.0        ；X 轴孔数
        #31 = 4.0        ；Y 轴孔数
        #32 = 10.0       ；X 轴孔间距
        #33 = 10.0       ；Y 轴孔间距
        #26 = -25.0      ；最终钻孔深度
        #18 = 4.0        ；安全间隙
        #9 = 150.0       ；进给速度
N010  T01  M06；调用 1 号刀
N015  G17  G90  G21  G94  G54  G40  G49  G80；工艺加工状态设置
N020  G43  G00  Z50.0  H01  S600  M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为
                                        600r/min
N025  X0.0  Y0.0  M08；刀具快速移动到工件坐标零点，打开切削液
N030  G65  P3322；调用矩形框式点阵孔群钻削的用户宏程序
N035  G00  Z100.0  M09；刀具退到工件上表面 100mm 处，切削液关闭
N040  G49；取消刀具长度补偿
N045  X0  Y0  M05；刀具退回工件坐标零点，主轴停止
N050  M30；程序结束并返回程序开头
O3322；矩形框式点阵孔群钻削用户宏程序（见前）
⋮
M99；子程序结束，返回主程序
```

3.3.2.3 平行四边形框式点阵孔群宏程序编程

图 3-32 是在一长方形零件进行平行四边形框式点阵孔群钻（铣）削加工。平行四边形框式点阵孔群共有二行二列，假设每行孔数为 I，每列孔数为 J，每行孔间距为 S，每列孔间距为 T，其中 X_0 为工件左下角第一个孔的横坐标绝对值，Y_0 为工件左下角第一个孔的纵坐标绝对值，A 为平行四边形框式点阵孔群起始边与 X 轴的夹角。B 为平行四边形框式点阵孔群终边与起始边的夹角。Z 为垂向最终加工深度，R 为刀具离开工件上表面的安全距离。试

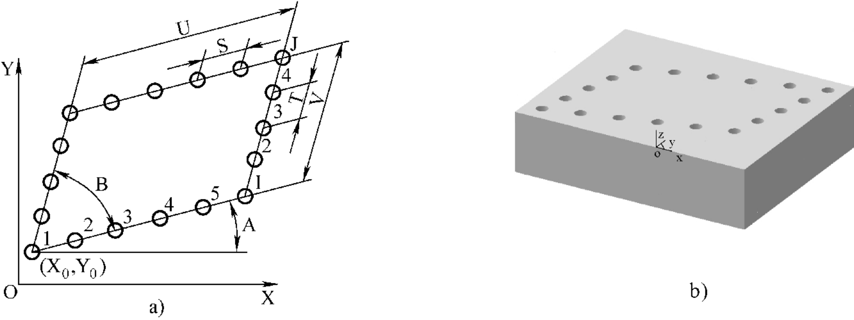


图 3-32 平行四边形框式点阵孔群刀具走刀路线示意图

a）平行四边形框式点阵孔群零件图 b）效果图

用变量或参数编写其通用加工程序。

由图示分析，可画出该宏程序的结构流程框图，如图 3-33 所示。

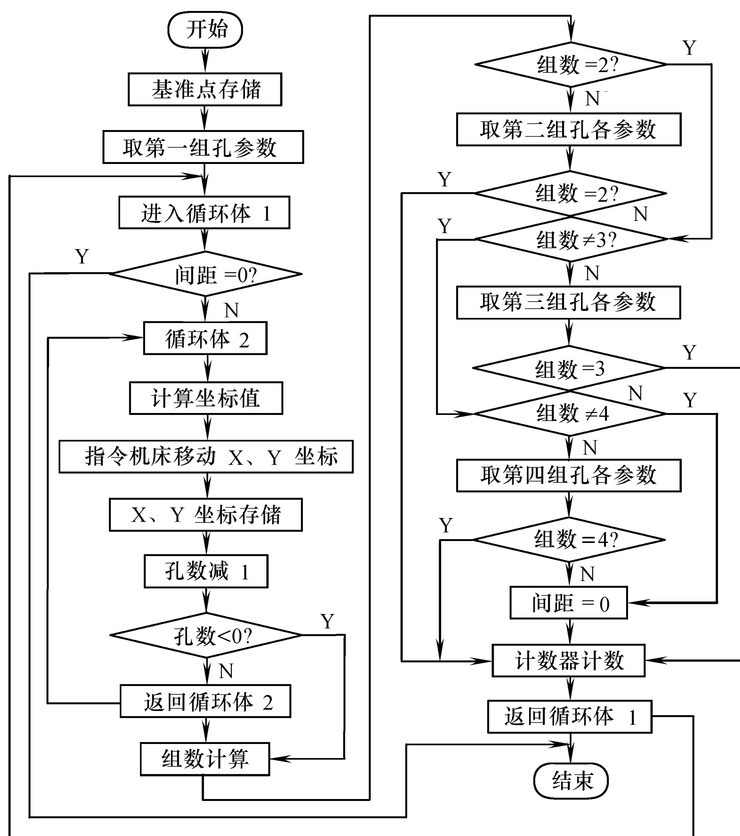


图 3-33 平行四边形框式点阵孔群的宏程序结构流程框图

1. HNC—21/22M 华中世纪星数控系统对平行四边形框式点阵孔群钻削的用户宏程序

局部变量含义：

#101 = X_0；第一个孔的 X 绝对坐标值

#102 = Y_0；第一个孔的 Y 绝对坐标值

#2 = #101；将第一个孔的 X 绝对坐标值赋给变量#2

#3 = #102；将第一个孔的 Y 绝对坐标值赋给变量#3

#27 = 1；框式平行四边形点阵孔群行数初始值

#28 = 1；框式平行四边形点阵孔群列数初始值

#29 = A；框式平行四边形点阵孔群起始边与 X 轴的夹角

#30 = I；X 轴孔数

#31 = J；Y 轴孔数

#32 = S；X 轴孔间距

#33 = T；Y 轴孔间距

#34 = B；框式平行四边形点阵孔群终边与起始边的夹角

#26 = Z；最终钻削深度

```
#18 = R；安全高度
#9 = F；钻削进给速度
%3323；宏程序号
N010  WHILE  #27LE#30；如果#27 大于#30，则程序跳转到 N035 程序段
N015  G00  X[#101]  Y[#102]；将刀具移动到孔上方
N020  G98  G81  Z[#26]  R[#18]  F[#9]  K0；调用循环程序钻定位孔
N025  #101 = #2 + #32 * COS[#29 * PI/180]；计算孔的 X 绝对坐标值
      #102 = #3 + #32 * SIN[#29 * PI/180]；计算孔的 Y 绝对坐标值
      #2 = #101；将 X 绝对坐标值赋给变量#2 存储
      #3 = #102；将 Y 绝对坐标值赋给变量#3 存储
      #27 = #27 + 1；孔数加 1
N030  ENDW；返回循环体
N035  WHILE  #28LT#31；如果#28 大于或等于#31，则程序跳转到 N065 程序段
N040  #101 = #2 + #33 * COS[[#29 + #34] * PI/180]；计算孔的 X 绝对坐标值
      #102 = #3 + #33 * SIN[[#29 + #34] * PI/180]；计算孔的 Y 绝对坐标值
N045  G00  X[#101]  Y[#102]；将刀具移动到孔上方
N050  G98  G81  Z[#26]  R[#18]  F[#9]  K0；调用循环程序钻定位孔
N055  #2 = #101；将 X 绝对坐标值赋给变量#2 存储
      #3 = #102；将 Y 绝对坐标值赋给变量#3 存储
      #28 = #28 + 1；孔数加 1
N060  ENDW；返回循环体
N065  #27 = 1；行孔数置 1
N070  WHILE  [#27LT#30]；如果#27 大于或等于#30，则跳转到 N100 程序段
N075  #101 = #2 - #32 * COS[#29 * PI/180]；计算孔的 X 绝对坐标值
      #102 = #3 - #32 * SIN[#29 * PI/180]；计算孔的 Y 绝对坐标值
N080  G00  X[#101]  Y[#102]；将刀具移动到孔上方
N085  G98  G81  Z[#26]  R[#18]  F[#9]  K0；调用循环程序钻定位孔
N090  #2 = #101；将 X 绝对坐标值赋给变量#2 存储
      #3 = #102；将 Y 绝对坐标值赋给变量#3 存储
      #27 = #27 + 1；孔数加 1
N095  ENDW；返回循环体
N100  #28 = 1；列孔数置 1
N105  WHILE  #28LT#31；如果#28 大于或等于#31，则程序跳转到 N135 程序段
N110  #101 = #2 - #33 * COS[[#29 + #34] * PI/180]；计算孔的 X 绝对坐标值
      #102 = #3 - #33 * SIN[[#29 + #34] * PI/180]；计算孔的 Y 绝对坐标值
N115  G00  X[#101]  Y[#102]；将刀具移动到孔上方
N120  G98  G81  Z[#26]  R[#18]  F[#9]  K0；调用循环程序钻定位孔
N125  #2 = #101；将 X 绝对坐标值赋给变量#2 存储
      #3 = #102；将 Y 绝对坐标值赋给变量#3 存储
```

```
        #28 = #28 + 1；孔数加 1
N130    ENDW；返回循环体
N135    G80；取消固定循环
N140    M99；子程序结束并返回主程序
```

2. SINUMERIK 802D 数控系统对平行四边形框式点阵孔群钻削的用户 R 参数程序

R 参数含义：

R101 = X_0；第一个孔的 X 绝对坐标值

R102 = Y_0；第一个孔的 Y 绝对坐标值

R2 = R101；将第一个孔的 X 绝对坐标值赋给变量 R2

R3 = R102；将第一个孔的 Y 绝对坐标值赋给变量 R3

R27 = 1；框式平行四边形点阵行孔群列数初始值

R28 = 1；框式平行四边形点阵列孔群行数初始值

R29 = A；框式平行四边形点阵孔群起始边与 X 轴的夹角

R30 = I；X 轴孔数（行数）

R31 = J；Y 轴孔数

R32 = S；X 轴孔间距

R33 = T；Y 轴孔间距

R34 = B；框式平行四边形点阵孔群终边与起始边的夹角

R26 = Z；最终钻削深度

R18 = R；安全高度

SPFR9 = F；钻削进给速度

```
L3323；R 参数程序名
N015    MARKE1：G00    X = R101    Y = R102；将刀具移动到孔上方
N020    Z = R18；刀具快速下降到安全高度
N025    G01    Z = R26    F = R9；以工进速度钻定位孔
N030    G00    Z = R18；刀具快速抬起到安全高度
N035    R101 = R2 + R32 * COS（R29）；计算孔的 X 绝对坐标值
        R102 = R3 + R32 * SIN（R29）；计算孔的 Y 绝对坐标值
        R2 = R101；将 X 绝对坐标值赋给变量 R2 存储
        R3 = R102；将 Y 绝对坐标值赋给变量 R3 存储
        R27 = R27 + 1；孔数加 1
N040    IF    R27 < = R30    GOTOB    MARKE1；如果 R27 小于或等于 R30，则程序跳转
                                               到 MARKE1
N045    MARKE2：R101 = R2 + R33 * COS（R29 + R34）；计算孔的 X 绝对坐标值
                R102 = R3 + R33 * SIN（R29 + R34）；计算孔的 Y 绝对坐标值
N050    G00    X = R101    Y = R102；将刀具移动到孔上方
N055    Z = R18；刀具快速下降到安全高度
N060    G01    Z = R26    F = R9；以工进速度钻定位孔
N065    G00    Z = R18；刀具快速抬起到安全高度
```

N070 R2 = R101；将 X 绝对坐标值赋给变量 R2 存储
R3 = R102；将 Y 绝对坐标值赋给变量 R3 存储
R28 = R28 + 1；孔数加 1
N075 IF R28 < R31 GOTOB MARKE2；如果 R28 小于 R31，则程序跳转到 MARKE2
N080 R27 = 1；孔群行孔数赋初始值
N085 MARKE3：R101 = R2 - R32 * COS（R29）；计算孔的 X 绝对坐标值
R102 = R3 - R32 * SIN（R29）；计算孔的 Y 绝对坐标值
N090 G00 X = R101 Y = R102；将刀具移动到孔上方
N095 Z = R18；刀具快速下降到安全高度
N100 G01 Z = R26 F = R9；以工进速度钻定位孔
N105 G00 Z = R18；刀具快速抬起到安全高度
N110 R2 = R101；将 X 绝对坐标值赋给变量 R2 存储
R3 = R102；将 Y 绝对坐标值赋给变量 R3 存储
R27 = R27 + 1；孔数加 1
N115 IF R27 < R30 GOTOB MARKE3；如果 R27 小于 R30，则程序跳转到 MARKE3
N120 R28 = 1；孔群列孔数赋初始值
N125 MARKE4：R101 = R2 - R33 * COS（R29 + R34）；计算孔的 X 绝对坐标值
R102 = R3 - R33 * SIN（R29 + R34）；计算孔的 Y 绝对坐标值
N130 G00 X = R101 Y = R102；将刀具移动到孔上方
N135 Z = R18；刀具快速抬起到安全高度
N140 G01 Z = R26 F = R9；以工进速度钻定位孔
N145 G00 Z = R18；刀具快速抬起到安全高度
N150 R2 = R101；将 X 绝对坐标值赋给变量 R2 存储
R3 = R102；将 Y 绝对坐标值赋给变量 R3 存储
R28 = R28 + 1；孔数加 1
N155 IF R28 < R31 GOTOB MARKE4；如果 R28 小于 R31，则程序跳转到 MARKE4
N160 RET；R 参数子程序结束并返回主程序

3. FANUC 0i 系统对平行四边形框式点阵孔群钻削的用户宏程序

自变量含义：
#101 = X_0；第一个孔的 X 绝对坐标值
#102 = Y_0；第一个孔的 Y 绝对坐标值
#2 = #101；将第一个孔的 X 绝对坐标值赋给变量#2
#3 = #102；将第一个孔的 Y 绝对坐标值赋给变量#3
#27 = 1；框式平行四边形点阵孔群行孔数初始值
#28 = 1；框式平行四边形点阵孔群列孔数初始值
#29 = A；框式平行四边形点阵孔群起始边与 X 轴的夹角

```
#30 = I；X 轴孔数（行数）
#31 = J；Y 轴孔数
#32 = S；X 轴孔间距
#33 = T；Y 轴孔间距
#34 = B；框式平行四边形点阵孔群终边与起始边的夹角
#26 = Z；最终钻削深度
#18 = R；安全高度
#9 = F；钻削进给速度
O3323；宏程序名
N015　WHILE　[#27LE#30]　DO1；如果#27 大于#30，则程序跳转到 N040 程序段
N020　G00　X#101　Y#102；将刀具移动到孔上方
N025　G98　G81　Z#26　R#18　F#9　K0；调用循环程序钻定位孔
N030　#101 = #2 + #32 * COS[#29]；计算孔的 X 绝对坐标值
　　　#102 = #3 + #32 * SIN[#29]；计算孔的 Y 绝对坐标值
　　　#2 = #101；将 X 绝对坐标值赋给变量#2 存储
　　　#3 = #102；将 Y 绝对坐标值赋给变量#3 存储
　　　#27 = #27 + 1；孔数加 1
N035　END1；返回循环体 1
N040　WHILE　[#28LE#31]　DO2；如果#28 大于#31，则程序跳转到 N070 程序段
N045　#101 = #2 + #33 * COS[#29 + #34]；计算孔的 X 绝对坐标值
　　　#102 = #3 + #33 * SIN[#29 + #34]；计算孔的 Y 绝对坐标值
N050　G00　X#101　Y#102；将刀具移动到孔上方
N055　G98　G81　Z#26　R#18　F#9　K0；调用循环程序钻定位孔
N060　#2 = #101；将 X 绝对坐标值赋给变量#2 存储
　　　#3 = #102；将 Y 绝对坐标值赋给变量#3 存储
　　　#28 = #28 + 1；孔数加 1
N065　END2；返回循环体 2
N070　#27 = 1；孔群行数赋初始值
N075　WHILE　[#27LT#30]　DO3；如果#27 大于或等于#30，则程序跳转到 N105 程
　　　序段
N080　#101 = #2 - #32 * COS[#29]；计算孔的 X 绝对坐标值
　　　#102 = #3 - #32 * SIN[#29]；计算孔的 Y 绝对坐标值
N085　G00　X#101　Y#102；将刀具移动到孔上方
N090　G98　G81　Z#26　R#18　F#9　K0；调用循环程序钻定位孔
N095　#2 = #101；将 X 绝对坐标值赋给变量#2 存储
　　　#3 = #102；将 Y 绝对坐标值赋给变量#3 存储
　　　#27 = #27 + 1；孔数加 1
N100　END3；返回循环体 3
N105　#28 = 1；孔群列数赋初始值
```

N110 WHILE ［#28LT#31］ DO1；如果#28 大于或等于#31，则程序跳转到 N140 程序段

N115 #101 = #2 - #33 * COS[#29 + #34]；计算孔的 X 绝对坐标值

#102 = #3 - #33 * SIN[#29 + #34]；计算孔的 Y 绝对坐标值

N120 G00 X#101 Y#102；将刀具移动到孔上方

N125 G98 G81 Z#26 R#18 F#9 K0；调用循环程序钻定位孔

N130 #2 = #101；将 X 绝对坐标值赋给变量#2 存储

#3 = #102；将 Y 绝对坐标值赋给变量#3 存储

#28 = #28 + 1；孔数加 1

N135 END1；返回循环体 1

N140 G80；取消固定循环

N145 M99；子程序结束并返回主程序

4. 编程举例

在铣床或加工中心上钻削图 3-34 所示长方形零件上的平行四边形框式孔群。钻孔直径为 ϕ6mm，主轴转速为 800r/min，钻孔轴进给速度为 150mm/min，钻孔深度为 20.0mm，钻孔轴起始位置在工件上方 50.0mm。利用宏程序编制加工程序。

解：

（1）工艺设计 建立工件坐标系，工件左下角为工件坐标系 X、Y 轴的零点，工件表面为工件坐标系 Z 轴的零点，机床坐标系偏置值设置在 G54 寄存器中。

采用图 3-34 所示刀具位移路线图钻削平行四边形框式孔群，选择 ϕ6mm 的麻花钻，取主轴转速 800r/min、钻削进给速度 150mm/min，主轴起始位置在零件上方 50.0mm 处，刀具起始切削安全高度为 4.0mm，最终加工深度为 Z -20.0mm。根据不同数控系统，运用变量（或参数）直接赋值编制加工程序。

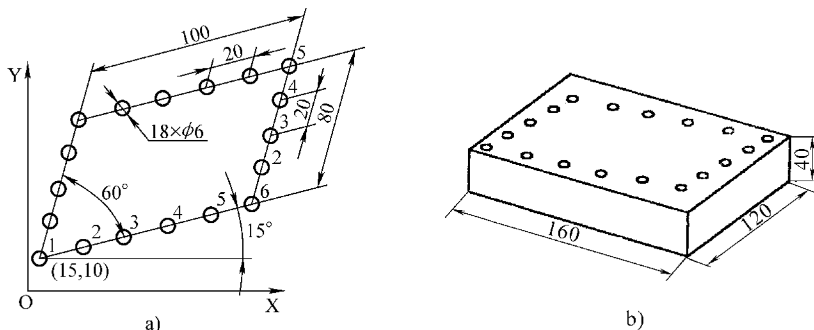


图 3-34 平行四边形框式点阵孔群编程实例零件钻削走刀路线示意图

a）平行四边形框式点阵孔群编程实例零件尺寸图 b）效果图

（2）参考程序

1）HNC—21/22M 华中世纪星数控系统。

O××××；文件名

%××××；程序号

```
N10  T01  M06；调用1号刀
N15  G17  G90  G21  G94  G54  G40  G49  G80；工艺加工状态设置
N20  G43  G00  Z50.0  H01  S800  M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为
                                       800r/min
N25  X0.0  Y0.0  M07；刀具快速移动到工件坐标零点，打开切削液
N30  #101=15.0；第一个孔的X绝对坐标值
     #102=10.0；第一个孔的Y绝对坐标值
     #2=#101；将第一个孔的X绝对坐标值赋给变量#2
     #3=#102；将第一个孔的Y绝对坐标值赋给变量#3
     #27=1；框式平行四边形点阵孔群列数初始值
     #28=1；框式平行四边形点阵孔群行数初始值
     #29=15°；框式平行四边形点阵孔群起始边与X轴的夹角
     #30=6.0；X轴孔数
     #31=5.0；Y轴孔数
     #32=20.0；X轴孔间距
     #33=20.0；Y轴孔间距
     #34=60°；框式平行四边形点阵孔群终边与起始边的夹角
     #26=-20.0；最终钻削深度
     #18=4.0；安全高度
     #9=150.0；钻削进给速度
N35  M98  P3323；调用钻削平行四边形框式点阵孔群的用户宏程序
N40  G00  Z100.0  M09；刀具退到工件上表面100mm处，切削液关闭
N45  G49；取消刀具长度补偿
N50  X0  Y0  M05；刀具退回工件坐标零点，主轴停止
N55  M30；程序结束并返回程序开头
%3323；平行四边形框式点阵孔群钻削用户宏程序（见前面）
 ⋮
M99；子程序结束，返回主程序
```

2）SINUMERIK 802D数控系统。

```
FZG×××××；主程序名
N05  R101=15.0；第一个孔的X绝对坐标值
     R102=10.0；第一个孔的Y绝对坐标值
     R2=R101；将第一个孔的X绝对坐标值赋给变量R2
     R3=R102；将第一个孔的Y绝对坐标值赋给变量R3
     R27=1；框式平行四边形点阵孔群列数初始值
     R28=1；框式平行四边形点阵孔群行数初始值
     R29=15°；框式平行四边形点阵孔群起始边与X轴的夹角
     R30=6.0；X轴上孔数
     R31=5.0；Y轴上孔数
```

```
        R32 =20.0；X 轴孔间距
        R33 =20.0；Y 轴孔间距
        R34 =60°；框式平行四边形点阵孔群起始边与 X 轴的夹角
        R26 = -20.0；最终钻削深度
        R18 =4.0；安全高度
        R9 =150.0；钻削进给速度
N10     T1    D1；调用 1 号刀，1 号刀补
N15     G17   G90   G71   G94   G54   G40；工艺加工状态设置
N20     G00   Z50.0   S600   M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为 600r/min
N25     X0.0   Y0.0   M07；刀具快速移动到工件坐标零点，打开切削液
N30     L3323；调用钻削平行四边形框式点阵孔群的用户 R 参数程序
N35     G00   Z100.0   M09；刀具退到工件上表面 100mm 处，切削液关闭
N40     X0   Y0   M05   D0；刀具退回工件坐标零点，主轴停止
N45     M02；程序结束并返回程序开头
L3323；平行四边形框式点阵孔群钻削用户 R 参数程序（见前面）
⋮
RET；子程序结束，返回主程序
```

3）FANUC 0i 数控系统。

```
O××××；主程序名
N05     #101 =15.0；第一个孔的 X 绝对坐标值
        #102 =10.0；第一个孔的 Y 绝对坐标值
        #2 =#101；将第一个孔的 X 绝对坐标值赋给变量#2
        #3 =#102；将第一个孔的 Y 绝对坐标值赋给变量#3
        #27 =1；框式平行四边形点阵孔群列数初始值
        #28 =1；框式平行四边形点阵孔群行数初始值
        #29 =15°；框式平行四边形点阵孔群起始边与 X 轴的夹角
        #30 =6.0；X 轴孔数
        #31 =5.0；Y 轴孔数
        #32 =20.0；X 轴孔间距
        #33 =20.0；Y 轴孔间距
        #34 =60°；框式平行四边形点阵孔群终边与起始边的夹角
        #26 = -20.0；最终钻削深度
        #18 =4.0；安全高度
N10     T01   M06；调用 1 号刀
N15     G17   G90   G21   G94   G54   G40   G49   G80；工艺加工状态设置
N20     G43   G00   Z50.0   H01   S600   M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为
                                              600r/min
N25     X0.0   Y0.0   M07；刀具快速移动到工件坐标零点，打开切削液
N30     G65   P3323；调用钻削平行四边形框式点阵孔群的用户宏程序
```

N35　G00　Z100.0　M09；刀具退到工件上表面 100mm 处，切削液关闭
N40　G49；取消刀具长度补偿
N45　X0　Y0　M05；刀具退回工件坐标零点，主轴停止
N50　M30；程序结束并返回程序开头
O3323；平行四边形框式点阵孔群钻削用户宏程序（见前面）
⋮
M99；子程序结束，返回主程序

3.3.2.4　矩形网式点阵孔群宏程序编程

图 3-35 是在一零件上进行矩形网式点阵孔群钻（铣）削加工，假设共有 M 行、H 列，孔数为 M×H，横向孔距为 U，纵向孔距为 V，A 为 X 轴与斜线的夹角。其中 X_0 为工件上左下边第一个孔的横坐标绝对值，Y_0 为工件上左下边第一个孔的纵坐标绝对值。利用宏变量（或参数）编制此类零件的通用加工程序。

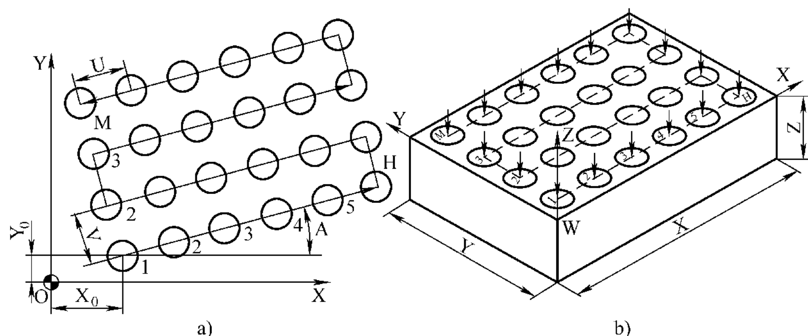


图 3-35　矩形网式点阵孔群钻削加工刀具路线示意图
a）矩形网式点阵孔群零件图　b）效果图

由图 3-35 分析，可画出该宏程序的结构流程框图，如图 3-36 所示。

1. HNC—21/22M 华中世纪星数控系统对矩形网式点阵孔群钻削的用户宏程序

局部变量含义：

#2 = X_0　　；将 X_0 赋值给#2
#3 = Y_0　　；将 Y_0 赋值给#3
#4 = 1　　；矩形网式点阵孔群行计数器置 1
#5 = 1　　；矩形网式点阵孔群列计数器置 1
#30 = M　　；将行数 M 赋值给#30
#31 = H　　；将列数 H 赋值给#31
#32 = A　　；将角度 A 赋值给#32
#33 = U　　；将列孔距 U 赋值给#33
#34 = V　　；将行孔距 V 赋值给#34
#10 = Z　　；最终加工深度
#11 = R　　；安全距离
#12 = F　　；切削进给速度

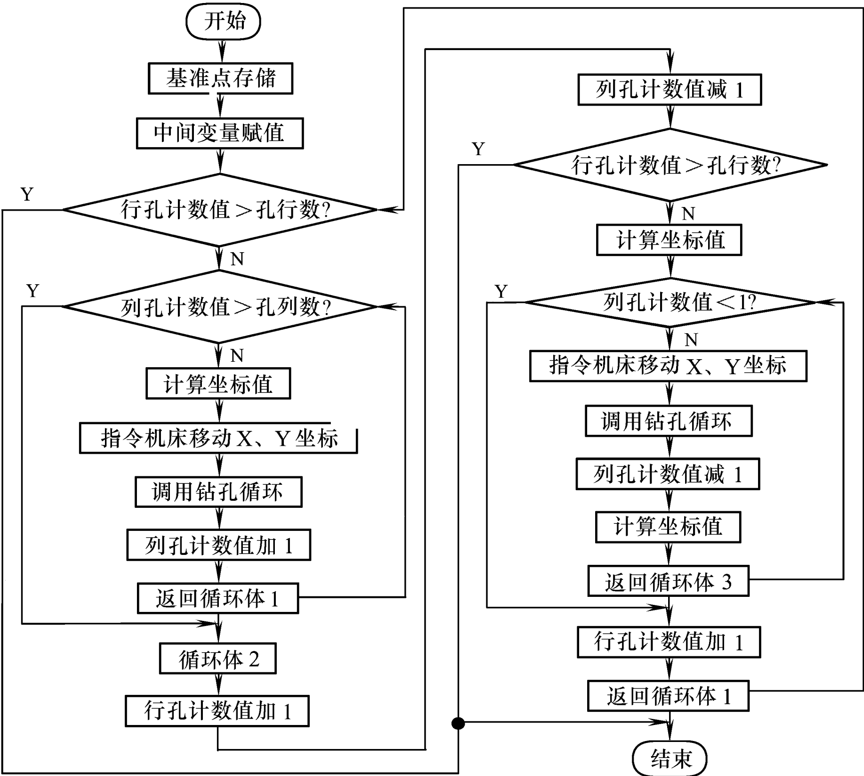


图3-36 矩形网式点阵孔群钻削加工用户宏程序结构流程框图

%3324 ；宏程序号

N010 WHILE #5LE#31；如果#5（孔列计数值）大于#31（孔列数），则跳转到N120程序段

N015 WHILE #4LE#30；如果#4（孔行计数值）大于#30（孔行数），则跳转到N050程序段

N020 #101=[#4-1]*#33；计算当前孔与第1个孔的孔中心行间距值

N025 #102=[#5-1]*#34；计算当前孔与第1个孔的孔中心列间距值

N030 G01 X[#101*COS[#32*PI/180]+#102*SIN[#32*PI/180]+#2] Y[#102*COS[#32*PI/180]+#101*SIN[#32*PI/180]+#3] F1000；指令机床移动到当前加工孔中心的X、Y坐标

N035 G81 Z[-#10] R[#11] F[#12]K0；调用固定循环程序钻定位孔

N040 #4=#4+1；行孔数加1

N045 ENDW；返回循环体

N050 #4=#30；将孔行数赋给变量#4

N055 WHILE #4GE1；如果#4小于1，则跳转到N100程序段

N060 #101=[#4-1]*#33；计算当前孔与第1个孔的孔中心行间距值

N065 #102=#5*#34；计算当前孔与第1个孔的孔中心列间距值

N070　#103 = [#31 - 1] * #34;孔中心列间距值计算

N075　IF　ABS[#102]　GT　ABS[#103];如果 ABS[#102]大于 ABS[#103],则跳转到 N115 程序段

N080　G01　X[#101 * COS[#32 * PI/180] + #102 * SIN[#32 * PI/180] + #2]　Y[#102 * COS[#32 * PI/180] + #101 * SIN[#32 * PI/180] + #3]　F1000;指令机床移动到当前加工孔中心的 X、Y 坐标

N085　G81　Z[- #10]　R[#11]　F[#12]K0;调用固定循环程序钻定位孔

N090　#4 = #4 - 1;行孔数减 1

N095　ENDW;返回循环体

N100　#5 = #5 + 2;列孔数加 2

N105　#4 = 1;行计数器置 1

N110　ENDIF;条件满足结束,执行下条语句

N115　ENDW;返回循环体,执行下条语句

N120　M99;子程序结束并返回主程序

2. SINUMERIK 802D 数控系统对矩形网式点阵孔群钻削的用户 R 参数程序

R 参数含义:

R2 = X_0　;将 X_0 赋值给 R2

R3 = Y_0　;将 Y_0 赋值给 R3

R4 = 1　;矩形网式点阵孔群行计数器置 1

R5 = 1　;矩形网式点阵孔群列计数器置 1

R30 = M　;将行数 M 赋值给 R30

R31 = H　;将列数 H 赋值给 R31

R32 = A　;将角度 A 赋值给 R32

R33 = U　;将列孔距 U 赋值给 R33

R34 = V　;将行孔距 V 赋值给 R34

R12 = F　;切削进给速度

RTP = 50　;后退平面(绝对值)

REP = 0　;参考平面(绝对值)

SDIS = R　;安全间隙(无符号)

DP = Z　;最终钻孔深度(绝对值)

DPR = Z　;相当于参考平面的最后钻孔深度(无符号)

L3324;参数程序名

N010　MARKE1:IF　R5 > R31　GOTOF　MARKEO

N015　MARKE2:R101 = [R4 - 1] * R33;计算当前孔与第 1 个孔的孔中心行间距值

R102 = [R5 - 1] * R34;计算当前孔与第 1 个孔的孔中心列间距值

N020　G01　X = [R101 * COS[R32] + R102 * SIN[#32] + R2]　Y = [R102 * COS[R32] + R101 * SIN[R32] + R3]　F1000;指令机床移动到当前加工孔中心的 X、Y 坐标

N025　CYCL81(RTP,REP,SDIS,DP,DPR);调用循环程序钻定位孔

N030　R4 = R4 + 1;行孔数加 1

N035　IF　R4 < = R30　GOTOB　MARKE2;如果 R4(孔行计数值)小于或等于 R30(孔行数),则程序跳转到标志符 MARKE2

N040　R4 = R30;将孔行数赋给变量 R4

N045　MARKE3:R101 = [R4 - 1] * R33;计算当前孔与第 1 个孔的孔中心行间距值

N050　R102 = R5 * R34;计算当前孔与第 1 个孔的孔中心列间距值

N055　R103 = [R31 - 1] * R34;孔中心列间距值计算

N060　IF　ABS(R102) > ABS(R103)　GOTOF　MARKE0;如果 R102(孔列计数值)小于 R103(孔列数)时,则程序跳转到标志符 MARKE0

N065　G01　X = [R101 * COS[R32] + R102 * SIN[#32] + R2]　Y = [R102 * COS[R32] + R101 * SIN[R32] + R3]　F1000;指令机床移动到当前加工孔中心的 X、Y 坐标

N070　CYCL81(RTP,REP,SDIS,DP,DPR);调用循环程序钻定位孔

N075　R4 = R4 - 1;行孔数减 1

N080　IF　R4 < = 1　GOTOB　MARKE3;如果 R4(孔行计数值)小于或等于 1 时,则程序返回到标志符 MARKE3 程序段

N085　R5 = R5 + 2;孔列计数器值加 2

N090　R4 = 1;孔行计数器置 1

N095　IF　R5 < = R31　GOTOB　MARKE1;如果 R5(孔列计数值)小于或等于 R31 时,则程序返回到标志符 MARKE1

N100　MARKE0:RET;R 参数子程序结束并返回主程序

3. FANUC 0i 数控系统对矩形网式点阵孔群钻削的用户宏程序

自变量含义:

#2 = X_0　　;将 X_0 赋值给#2

#3 = Y_0　　;将 Y_0 赋值给#3

#4 = 1　　;矩形网式点阵孔群行计数器置 1

#5 = 1　　;矩形网式点阵孔群列计数器置 1

#30 = M　　;将行数 M 赋值给#30

#31 = H　　;将列数 H 赋值给#31

#32 = A　　;将角度 A 赋值给#32

#33 = U　　;将列孔距 U 赋值给#33

#34 = V　　;将行孔距 V 赋值给#34

#10 = Z　　;最终加工深度

#11 = R　　;安全距离

#12 = F　　;切削进给速度

O3324　　;宏程序名

N010　WHILE　[#5LE#31]DO1;如果#5(孔列计数值) > #31(孔列数)时,则程序跳转到 N115 程序段

N015　WHILE　[#4LE#30]DO2;如果#4(孔行计数值) > #30(孔行数)时,则程序跳转到 N050 程序段

N020 #101 = [#4 - 1] * #33;计算当前孔与第1个孔的孔中心行间距值

N025 #102 = [#5 - 1] * #34;计算当前孔与第1个孔的孔中心列间距值

N030 G01 X[#101 * COS[#32] + #102 * SIN[#32] + #2] Y[#102 * COS[#32] + #101 * SIN[#32] + #3] F1000;指令机床移动到当前加工孔中心的X、Y坐标

N035 G81 Z - #10 R#11 F#12 K0;调用固定循环程序钻定位孔

N040 #4 = #4 + 1;行孔数加1

N045 END2;返回循环体2

N050 #4 = #30;将孔行数赋给变量#4

N055 WHILE [#4GE1]DO3;如果#4小于1,则跳转到N100程序段

N060 #101 = [#4 - 1] * #33;计算当前孔与第1个孔的孔中心行间距值

N065 #102 = #5 * #34;计算当前孔与第1个孔的孔中心列间距值

N070 #103 = [#31 - 1] * #34;孔中心列间距值计算

N075 IF [ABS[#102] GT ABS[#103]] GOTO 095;如果ABS[#102]大于ABS[#103],则跳转到N100程序段

N080 G01 X[#101 * COS[#32] + #102 * SIN[#32] + #2] Y[#102 * COS[#32] + #101 * SIN[#32] + #3] F1000;指令机床移动到当前加工孔中心的X、Y坐标

N085 G81 Z - #10 R#11 F#12 K0;调用固定循环程序钻定位孔

N090 #4 = #4 - 1;行孔数减1

N095 ENDW3;返回循环体

N100 #5 = #5 + 2;列孔数加2

N105 #4 = 1;行计数器置1

N110 END1;返回循环体

N115 M99;子程序结束并返回主程序

4. 编程举例

在铣床或加工中心上钻削图3-37所示长方形零件上的矩形网式群孔。钻孔直径为ϕ6.8mm，主轴转速为800r/min，钻孔轴进给速度为150mm/min，钻孔深度为20.0mm，钻孔轴起始位置在工件上方50.0mm。利用宏程序编制加工程序。

图3-37 矩形网式点阵孔群钻削加工刀具走刀路线图

a）刀具走刀路线图 b）效果图

解：

（1）工艺设计 建立工件坐标系，工件左下角为工件坐标系X、Y轴的零点，工件表面

为工件坐标系 Z 轴的零点，机床坐标系偏置值设置在 G54 寄存器中。

采用图 3-37a 所示刀具位移路线图钻削矩形网式孔群，选择 ϕ6.8mm 的麻花钻，取主轴转速为 800r/min，钻削进给速度为 150mm/min，主轴起始位置在零件上方 50.0mm 处，刀具起始切削安全高度为 4.0mm，最终加工深度为 Z－20.0mm。根据不同数控系统，运用变量（或参数）直接赋值编制宏程序。

（2）参考程序

1）HNC—21/22M 华中世纪星数控系统。

```
O××××；文件名
%××××；程序号
N10  T01  M06；调用 1 号刀
N15  G17  G90  G21  G94  G54  G40  G49  G80；工艺加工状态设置
N20  G43  G00  Z50.0  H01  S800  M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为
                                        800r/min
N25  X0.0  Y0.0  M07；刀具快速移动到工件坐标零点，打开切削液
N30  #2＝20.0；将 20.0 赋值给#2
     #3＝10.0；将 10.0 赋值给#3
     #4＝1；矩形网式点阵孔群行计数器置 1
     #5＝1；矩形网式点阵孔群列计数器置 1
     #30＝4.0；将行数 4.0 赋值给#30
     #31＝6.0；将列数 6.0 赋值给#31
     #32＝15.0；将角度 15°赋值给#32
     #33＝10.0；将列孔距 10.0 赋值给#33
     #34＝10.0；将行孔距 10.0 赋值给#34
     #10＝－20.0；最终加工深度
     #11＝4.0；安全距离
     #12＝150.0；切削进给速度
N35  M98  P3324；调用钻削矩形网式点阵孔群的用户宏程序
N40  G00  Z100.0  M09；刀具退到工件上表面 100mm 处，切削液关闭
N45  G49；取消刀具长度补偿
N50  X0  Y0  M05；刀具退回工件坐标零点，主轴停止
N55  M30；程序结束并返回程序开头
%3324；矩形网式点阵孔群钻削用户宏程序（见前面）
⋮
M99；子程序结束，返回主程序
```

2）SINUMERIK 802D 数控系统。

```
FZG×××××；主程序名
N05  R2＝20.0；将 20.0 赋值给 R2
     R3＝10.0；将 10.0 赋值给 R3
     R4＝1；矩形网式点阵孔群行计数器置 1
```

```
        R5 = 1；矩形网式点阵孔群列计数器置 1
        R30 = 4.0；将行数 4.0 赋值给 R30
        R31 = 6.0；将列数 6.0 赋值给 R31
        R32 = 15.0；将角度 15°赋值给 R32
        R33 = 10.0；将列孔距 10 赋值给 R33
        R34 = 10.0；将行孔距 10 赋值给 R34
        R12 = 150.0；切削进给速度
        RTP = 50.0；后退平面（绝对值）
        REP = 0；参考平面（绝对值）
        SDIS = 4.0；安全间隙（无符号）
        DP = -20.0；最终钻孔深度（绝对值）
        DPR = 0；相当于参考平面的最后钻孔深度（无符号）
N10   T1   D1；调用 1 号刀，1 号刀补
N15   G17   G90   G71   G94   G54   G40；工艺加工状态设置
N20   G00   Z50.0   S600   M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为 600r/min
N25   X0.0   Y0.0   M07；刀具快速移动到工件坐标零点，打开切削液
N30   L3324；调用钻削矩形网式点阵群孔的用户 R 参数程序
N35   G00   Z100.0   M09；刀具退到工件上表面 100mm 处，切削液关闭
N40   X0   Y0   M05；刀具退回工件坐标零点，主轴停止
N45   M02；程序结束并返回程序开头
L3324；矩形网式点阵孔群钻削用户 R 参数程序（见前面）
⋮
RET；R 参数子程序结束，返回主程序
```

3）FANUC 0i 数控系统。

```
O××××；主程序名
N05   #2 = 20.0；将 20.0 赋值给#2
      #3 = 10.0；将 10.0 赋值给#3
      #4 = 1；矩形网式点阵孔群行计数器置 1
      #5 = 1；矩形网式点阵孔群列计数器置 1
      #30 = 4.0；将行数 4.0 赋值给#30
      #31 = 6.0；将列数 6.0 赋值给#31
      #32 = 15.0；将角度 15°赋值给#32
      #33 = 10.0；将列孔距 10.0 赋值给#33
      #34 = 10.0；将行孔距 10.0 赋值给#34
      #10 = -20.0；最终加工深度
      #11 = 4.0；安全距离
      #12 = 150.0；切削进给速度
N10   T01   M06；调用 1 号刀
N15   G17   G90   G21   G94   G54   G40   G49   G80；工艺加工状态设置
```

N20 G43 G00 Z50.0 H01 S600 M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为600r/min

N25 X0.0 Y0.0 M07；刀具快速移动到工件坐标零点，打开切削液

N30 G65 P3324；调用钻削矩形网式点阵孔群的用户宏程序

N35 G00 Z100.0 M09；刀具退到工件上表面100mm处，切削液关闭

N40 G49；取消刀具长度补偿

N45 X0 Y0 M05；刀具退回工件坐标零点，主轴停止

N50 M30；程序结束并返回程序开头

O3324；矩形网式点阵孔群钻削用户宏程序（见前面）

⋮

M99；子程序结束，返回主程序

3.3.2.5 平行四边形网式点阵孔群宏程序编程

图3-38是在一长方形零件进行平行四边形网式点阵孔群钻（铣）削加工，假设共有行M（#18）、列H（#9），孔数共有M×H，横向孔距为U（#20），纵向孔距为V（#7），A（#19）为X轴与斜线的夹角，其中X_0为工件上左下边第一个孔的横坐标绝对值，Y_0为工件上左下边第一个孔的纵坐标绝对值。利用宏变量（或参数）编制此类零件的通用程序。

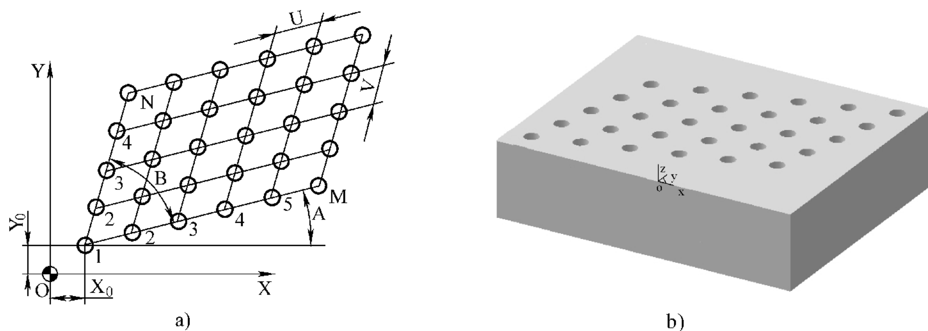


图3-38 平行四边形网式点阵孔群类零件钻削加工刀具路线示意图
a）平行四边形网式点阵孔群类零件图 b）效果图

由图3-38分析，可画出该宏程序的结构流程框图，如图3-39所示。

1. HNC—21/22M华中世纪星数控系统对平行四边形网式点阵孔群零件的用户宏程序

自变量含义：

#2 = X_0；X基准点存储

#3 = Y_0；Y基准点存储

#8 = 1；取值次数初始值

#17 = 1；行程次数初始值

#18 = M；行孔数M

#19 = A；平行四边形起始边与X轴的夹角A

#20 = U；孔行间距U

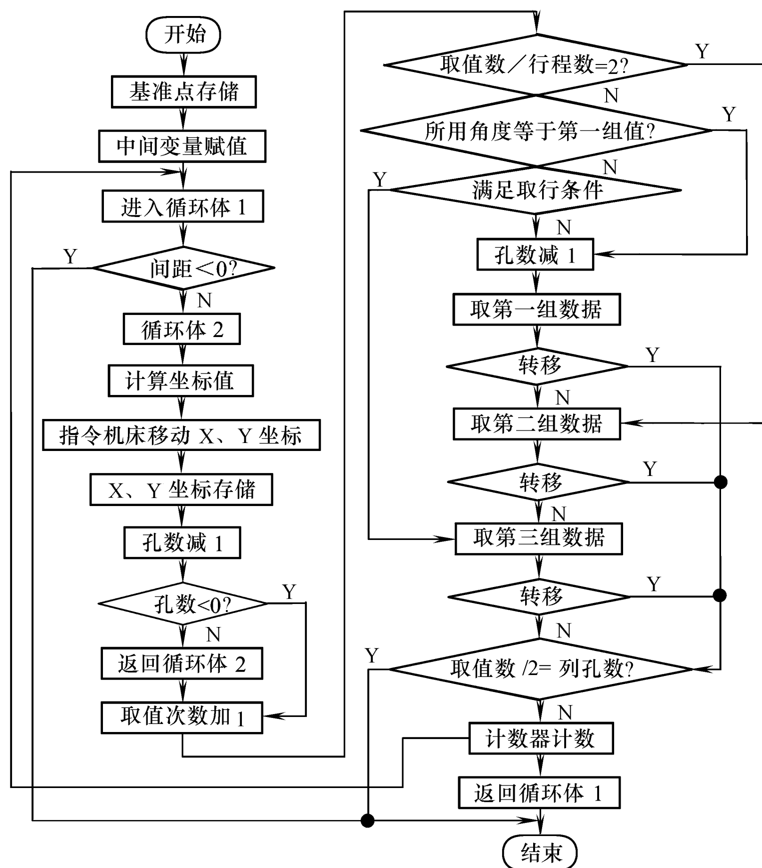


图 3-39　平行四边形网式点阵孔群钻削加工用户宏程序结构流程框图

#11 = B；平行四边形起始边与终边的夹角 B

#9 = N；列孔数 N

#7 = V；孔列距 V

%3325；宏程序名

N005　#101 = #2；X 基准点存储值赋给#101

　　#102 = #3；Y 基准点存储值赋给#102

　　#31 = #18；行孔数 M 赋给中间变量#31

　　#32 = #19；平行四边形起始边与 X 轴的夹角 A 赋给中间变量#32

　　#33 = #20；孔行间距 U 赋给中间变量#33

　　#100 = 1；计数器置 1

N010　WHILE　#100LT［#18 * #9］；如果#100 大于 M × N，则程序跳转到 N095 程序段

N020　WHILE　#31GT0；如果#31 小于 0，则程序跳转到 N050 程序段

N025　G00　X[#101]　Y[#102]；将刀具移动到孔上方

N030　G98　G81　Z[#26]　R[#18]　F[#9]　K0；调用循环程序钻定位孔

N035　#101 = #2 + #33 * COS[#32 * PI/180]；计算坐标值 $X = X_0 + T\cos$（S）

```
        #102 = #3 + #33 * SIN[#32 * PI/180]; 计算坐标值 Y = Y0 + Tsin(S)
N040    #2 = #101; X 坐标存储
        #3 = #102; Y 坐标存储
        #31 = #31 - 1; 孔数减 1
        #100 = #100 + 1; 计数器计数
N045    ENDW; 返回循环体 2
N050    #8 = #8 + 1; 取值次数加 1
N055    IF [#8/#17] EQ2; 如果 (#8/#17) 不等于 2, 则程序转移到 N065 程序段
N060    #31 = 1; 取第二组数据
        #32 = #19 + #11; 平行四边形终边与 X 轴的夹角
        #30 = #7: 孔列间距 V 赋给中间变量#30
        #17 = #17 + 1; 行程次数值 +1
      ELSE;
N065    IF #30EQ#19; 如果#30 不等于#19, 则程序转移到 N070 程序段
            #31 = #18 - 1; 孔数减 1
            #32 = #19; 取第一组数据
            #33 = #20;
            #30 = 0;
      ELSE
N070    IF #8EQ [2 * #17 - 1]; 如果#8 不等于 (2 * #17 - 1), 则程序转移到 N075 程序段
              #18 = #18 - 1; 取第三组数据
              #32 = #19 + 180;
              #32 = #20;
              #30 = #32 - 180;
N075          ENDIF;
N080        ENDIF;
N085    ENDIF;
N090    ENDW; 返回循环体 1
N095    M99; 子程序结束并返回主程序
```

2. SINUMERIK 802D 数控系统对平行四边形网式点阵孔群零件的用户 R 参数程序

R 参数含义:

R2 = X_0; X 基准点存储

R3 = Y_0; Y 基准点存储

R8 = 1; 取值次数初始值

R17 = 1; 行程次数初始值

R18 = M; 行孔数 M

R19 = A; 平行四边形起始边与 X 轴的夹角 A

R20 = U; 孔行间距 U

R11 = B；平行四边形起始边与终边的夹角 B
R9 = N；列孔数 N
R7 = V；孔列间距 V
L3325；R 参数程序名
N010　R101 = R2 ；X 基准点存储值赋给 R101
　　R102 = R3 ；Y 基准点存储值赋给 R102
　　R31 = R18 ；行孔数 M 赋给中间变量 R31
　　R32 = R19 ；平行四边形起始边与 X 轴的夹角 A 赋给中间变量 R32
　　R33 = R20 ；孔行间距 U 赋给中间变量 R33
　　R100 = 1，计数器置 1
　　R105 = R18 * R9；孔加工总数
N015　MARKE1：IF R33 < = 0 GOTOF MARKE0；如果 R33 小于或等于 0，则程序跳转到 MARKE0 标志符
N025　MARKE7：R101 = R2 + R33 * COS[R32]；计算坐标值 $X = X_0 + TCOS(S)$
　　R102 = R3 + R33 * SIN[R32]；计算坐标值 $Y = Y_0 + TSIN(S)$
N030　G00　X = R101　Y = R102；指令机床移动 X、Y 坐标
N032　CLYC81（RTP，REP，SDIS，DP，DPR）；调用固定循环程序钻定位孔
N034　R2 = R101；X 坐标存储
　　R3 = R102；Y 坐标存储
　　R31 = R31 - 1；孔数减 1
N035　IF R31 > 0　GOTOB　MARKE7；如果 R31 大于零，则程序跳转到 MARKE7 标志符
N040　R8 = R8 + 1；取值次数加 1
N045　IF（R8/R17）= = 2　GOTOF　MARKE2；如果（R8/R17）等于 2，则程序跳转到 MARKE2 标志符
N050　IF R30 = = R19　GOTOF　MARKE3；如果 R30 等于 R19，则程序跳转到 MARKE3 标志符
N055　IF R8 = =（2 * R17 - 1）　GOTOF　MARKE4；如果 R8 等于（2 * R17 - 1），则程序跳转到 MARKE4 标志符
N060　MARKE3：R31 = R8 - 1；孔数减 1
　　R32 = R19　R33 = R20　R30 = 0；取第一组数据
N065　MARKE2：IF R32 = = R19　GOTOF　MARKE5；如果 R32 等于 R19，则程序跳转到 MARKE5 标志符
N070　R31 = 1　R32 = R19 + R11　R30 = R7　R17 = R17 + 1；取第二组数据
N075　IF R31 = = 1 GOTOF MARKE5；如果 R31 等于 1，则程序跳转到 MARKE5 标志符
N080　MARKE4：R31 = R18 - 1　R32 = R19 + 180　R32 = R20　R30 = R32 - 180；取第三组数据
N085　IF R33 = = R20　GOTOF　MARKE5；如果 R33 等于 R20，则程序跳转到 MARKE5 标志符

N090　MARKE5：IF（R8/2）==R9　GOTOF　MARKE0；如果（R8/2）等于 R9，则程序跳转到 MARKE0 标志符

N095　R100=R100+1；计数器计数

N100　MARKE0：RET；R 参数程序结束并返回调用程序

3. FANUC 0i 数控系统对平行四边形网式点阵孔群零件的用户宏程序

自变量含义：

#2 = X_0；X 基准点存储

#3 = Y_0；Y 基准点存储

#8=1；取值次数初始值

#17=1；行程次数初始值

#18=M；行孔数 M

#19=A；平行四边形起始边与 X 轴的夹角 A

#20=U；孔行间距 U

#11=B；平行四边形起始边与终边的夹角 B

#9=N；列孔数 N

#7=V；孔列间距 V

O3325；宏程序名

N005　#101=#2；X 基准点存储值赋给#101

　　#102=#3；Y 基准点存储值赋给#102

　　#31=#18；行孔数 M 赋给中间变量#31

　　#32=#19；平行四边形起始边与 X 轴的夹角 A 赋给中间变量#33

　　#33=#20；孔行间距 U 赋给中间变量#33

　　#100=1；计数器置 1

N010　WHILE［#100LE［#18*#9］］DO1；如果#100 大于 M×N，则程序跳转到 N115 程序段

N015　IF［#33LE0］GOTO115；如果#33 小于或等于 0，则程序跳转到 N115 程序段

N020　WHILE［#31GE0］DO2；如果#31 小于 0，则程序跳转到 N050 程序段

N025　G00　X#101　Y#102；将刀具移动到孔上方；

N030　G98　G81　Z#26　R#18　F#9　K0；调用循环程序钻定位孔

N035　#101=#2+#33*COS［#32］；计算坐标值 $X=X_0+TCOS$（S）

　　#102=#3+#33*SIN［#32］；计算坐标值 $Y=Y_0+TSIN$（S）

N040　#2=#101；X 坐标存储

　　#3=#102；Y 坐标存储

　　#31=#31-1；孔数减 1

　　#100=#100+1；计数器计数

N045　END2；返回循环体 2

N050　#8=#8+1；取值次数加 1

N055　IF［#8/#17EQ2］GOTO80；如果#8/#17 等于 2，则程序转移到 N080 程序段

N060　IF［#30EQ#19］GOTO70；如果#30 等于#19，则程序转移到 N070 程序段

```
N065  IF［#8EQ（2*#17-1）］GOTO90；如果#8 等于（2*#17-1），则程序转移到
                                        N090 程序段
N070  #31=#18-1；孔数减 1
      #32=#19；取第一组数据
      #33=#20；
      #30=0；
N075  IF［#32EQ#19］GOTO100；如果#32 等于#19，则程序转移到 N100 程序段
N080  #31=1；取第二组数据
      #32=#19+#11；平行四边形终边与 X 轴的夹角
      #30=#7；孔列间距 V 赋给中间变量#30
      #17=#17+1；行程次数值+1
N085  IF［#31EQ1］GOTO100；如果#31 等于 1，则程序转移到 N100 程序段
N090  #31=#18-1；取第三组数据
      #32=#19+180；
      #33=#20；
      #30=#32-180；
N095  IF［#33EQ#20］GOTO100；如果#33 等于#20，则程序转移到 N100 程序段
N100  IF［#8/2EQ#9］GOTO115；如果#8/2 等于#9，则程序转移到 N115 程序段
N110  END1；返回循环体 1
N115  M99；子程序结束并返回主程序
```

4. 编程举例

在铣床或加工中心上钻削图 3-40 所示一长方形零件平行四边形网式点阵孔群。平行四边形网式点阵孔群排列共有 5 行 6 列，每行孔数 6 个，每列孔数 5 个，相邻各行孔的列距为 40.0mm，行距为 45.0mm，左下角的第一个孔中心与工件坐标系原点的绝对坐标为（30，20），平行四边形的起始边与 X 轴的夹角为 15°，平行四边形的起始边与终边的夹角为 60°。试编写出其宏程序。

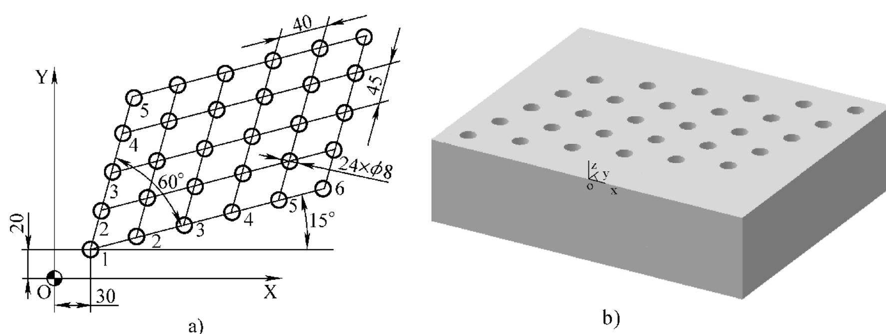


图 3-40 平行四边形网式点阵孔群编程实例钻削加工走刀路线图
a）平行四边形网式点阵孔群编程实例尺寸图 b）效果图

解：

（1）工艺设计　建立工件坐标系，工件左下角为工件坐标系 X、Y 轴的零点，工件表面为工件坐标系 Z 轴的零点，机床坐标系偏置值设置在 G54 寄存器中。

采用每一行从左至右逐个钻削加工，再逐行递增从左至右逐个钻削加工，这样逐行递增进行平行四边形网式点阵孔群的加工。选择 ϕ8mm 的麻花钻，取主轴转速为 800r/min，钻削进给速度为 150mm/min，主轴起始位置在零件上方 50.0mm 处，刀具起始切削高度为 4.0mm，最终钻孔深度 Z－20.0mm。根据不同数控系统，运用变量（或参数）直接赋值编制宏程序。

（2）参考程序

1）HNC—21/22M 华中世纪星数控系统。

```
O××××；文件名
%××××；程序号
N05  #2=30.0；X 基准点存储
     #3=20.0；Y 基准点存储
     #8=1；取值次数初始值
     #17=1；行程次数初始值
     #18=6；行孔数
     #19=8；平行四边形起始边与 X 轴的夹角
     #20=40；孔行间距
     #11=50；平行四边形起始边与终止边的夹角
     #9=5；列孔数
     #7=45；孔列距
N10  T01  M06  ；调用 1 号刀
N15  G17  G90  G21  G94  G54  G40  G49  G80；工艺加工状态设置
N20  G43  G00  Z50.0  H01  S800  M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为
                                      800r/min
N25  X0  Y0  M07；刀具快速移动到工件坐标零点，打开切削液
N35  M98  P3325；调用钻削平行四边形网式点阵孔群的用户宏程序
N40  G00  Z100.0  M09 ；刀具退到工件上表面 100mm 处，切削液关闭
N45  G49；取消刀具长度补偿
N50  X0  Y0  M05；刀具退回工件坐标零点，主轴停止
N55  M30；程序结束并返回程序开头
%3325；平行四边形网式点阵孔群钻削用户宏程序（见前面）
 ⋮
M99；子程序结束，返回主程序
```

2）SINUMERIK 802D 数控系统。

```
FZG×××××；主程序名
N05  R2=30.0；X 基准点存储
     R3=20.0；Y 基准点存储
```

```
        R8 =1；取值次数初始值
        R17 =1；行程次数初始值
        R18 =6；行孔数
        R19 =8；平行四边形起始边与 X 轴的夹角
        R20 =40；孔行间距
        R11 =50；平行四边形起始边与终止边的夹角
        R9 =5；列孔数
        R7 =45；孔列距
N10  T1  D1 ；调用 1 号刀，1 号刀补
N15  G17  G90  G71  G94  G54  G40；工艺加工状态设置
N20  G00  Z50.0  S800  M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为 800r/min
N25  X0.0  Y0.0  M08；刀具快速移动到工件坐标零点，打开切削液
N30  L3325；调用钻削平行四边形网式点阵孔群的用户 R 参数程序
N35  G00  Z100.0  M09；刀具退到工件上表面 100mm 处，切削液关闭
N40  X0  Y0  M05；刀具退回工件坐标零点，主轴停止
N45  M02；程序结束并返回程序开头
L3325；平行四边形网式点阵孔群钻削用户 R 参数程序（见前面）
⋮
RET；R 参数子程序结束，返回主程序
```

3）FANUC 0i 数控系统。

```
O××××；主程序名
N05  #2 =30.0；X 基准点存储
        #3 =20.0；Y 基准点存储
        #8 =1；取值次数初始值
        #17 =1；行程次数初始值
        #18 =6；行孔数
        #19 =8；平行四边形起始边与 X 轴的夹角
        #20 =40；孔行间距
        #11 =50；平行四边形起始边与终止边的夹角
        #9 =5；列孔数
        #7 =45；孔列距
N10  T01  M06；调用 1 号刀
N15  G17  G90  G21  G94  G54  G40  G49  G80；工艺加工状态设置
N20  G43  G00  Z50.0  H01  S800  M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为
                                        800r/min
N25  X0  Y0  M07；刀具快速移动到工件坐标零点，打开切削液
N35  G65  P3325；调用钻削平行四边形网式点阵孔群的用户宏程序
N40  G00  Z100.0  M09；刀具退到工件上表面 100mm 处，切削液关闭
N45  G49；取消刀具长度补偿
```

N50　X0　Y0　M05 ；刀具退回工件坐标零点，主轴停止

N55　M30；程序结束并返回程序开头

O3325；平行四边形网式点阵孔群钻削用户宏程序（见前面）

⋮

M99；子程序结束，返回主程序

3.3.2.6　圆弧点阵孔群宏程序编程

图 3-41 是在一圆弧上均匀分布孔的一种零件。假设钻孔数为 H，圆弧的半径为 I，第一个孔的起始角（即与 X 坐标的夹角）为 A。均布孔间隔角度 D，圆弧的中心坐标值为 X_0 和 Y_0。试用变量（或参数）编制圆弧点阵孔群钻（铣）削通用加工程序。

由图 3-41 分析，可画出该宏程序的结构流程框图，如图 3-42 所示。

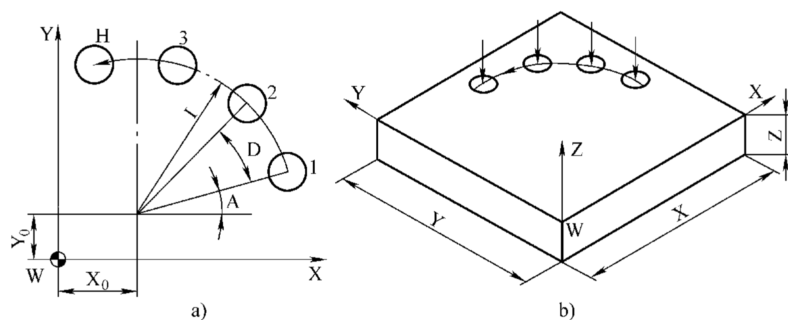


图 3-41　圆弧点阵孔群类零件钻削加工刀具路线示意图

a）零件图　b）效果图

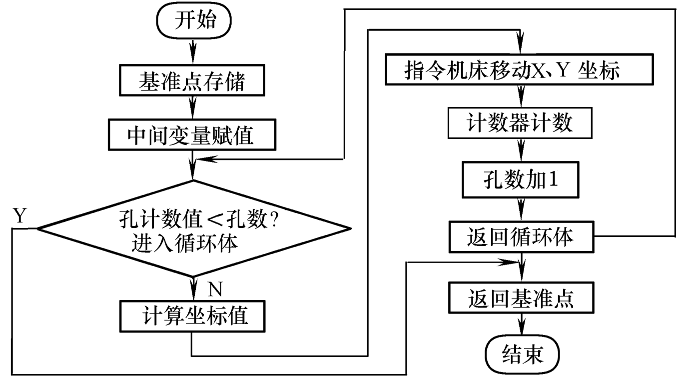


图 3-42　圆弧点阵孔群宏程序结构流程框图

1. HNC—21/22M 华中世纪星数控系统钻削圆弧点阵孔群的用户宏程序

局部变量含义：

#1 = X_0；X_0—圆弧形中心的横向坐标绝对值（0.001mm）
#2 = Y_0；Y_0—圆弧形中心的纵向坐标绝对值（0.001mm）
#3 = I；I—圆弧半径（0.001mm）
#4 = A；A—第一个孔的起始角（0.001°）
#5 = H；H—圆周上孔数
#6 = D；D—均布孔间隔度数（D = 360/#5）
#7 = Z；Z—最终钻孔深度
#8 = R；R—接近加工表面安全距离
#9 = F；F—钻孔进给速度

```
%3326；宏程序号
N10   #100 = 1；赋孔计数器初值
N15   WHILE #100LE#5；#100（孔计数值）大于#5（孔数），则程序跳转到 N65 程序段
N20   #30 = #3 * COS［#4 * PI/180］；圆弧中心到圆弧上任意孔中心的横坐标值
N25   #31 = #1 + #30；圆弧上任意孔中心的工件绝对横坐标值
N30   #32 = #3 * SIN［#4 * PI/180］；圆弧中心到圆弧上任意孔中心的纵坐标值
N35   #33 = #2 + #32；圆弧上任意孔中心的工件绝对纵坐标值
N40   G90   G00   X［#31］   Y［#33］   F［#9］；刀具直线插补到圆弧上任意孔中心上方
N45   G99   G81   Z［#7］   R［#8］   F［#9］   K0；调用钻孔固定循环
N50   #100 = #100 + 1；孔计数器加 1
N55   #4 = #4 + #6；孔位置角度叠加一个角度均值
N60   ENDW；返回循环体
N65   G80；取消固定循环
N70   M99；子程序结束，返回主程序
```

2. SINUMERIK 802D 数控系统钻削圆弧点阵孔群的用户 R 参数程序

R 参数含义：
R1 = X_0；X_0—圆弧形中心的 X 坐标值（0.001mm）
R2 = Y_0；Y_0—圆弧形中心的 Y 坐标值（0.001mm）
R3 = I；I—圆弧半径（0.001mm）
R4 = A；A—第一个孔的起始角（0.001°）
R5 = H；H—圆周上孔数
R6 = D；D—均布孔间隔度数（D = 360/R5）
R9 = F；F—钻孔进给速度

```
RTP = 50    ；后退平面（绝对值）
REP = 0     ；参考平面（绝对值）
SDIS = R    ；安全间隙（无符号）
DP = Z      ；最终钻孔深度（绝对值）
DPR = Z     ；相当于参考平面的最后钻孔深度（无符号）
```

```
L3326. SPF；R 参数子程序名
N10  R100 = 1；赋孔计数器初值
N15  MARKE1：R30 = R3 * COS（R4）；圆弧中心到圆弧上任意孔中心的横坐标值
N20  R31 = R1 + R30；圆弧上任意孔中心的工件绝对横坐标值
N25  R32 = R3 * SIN（R4）；圆弧中心到圆弧上任意孔中心的纵坐标值
N30  R33 = R2 + R32 ；圆弧上任意孔中心的工件绝对纵坐标值
N35  G90  G00  X = R31  Y = R33  F = R9；刀具直线插补到圆弧上任意孔中心上方
N40  CYCL81（RTP，REP，SDIS，DP，DPR)；调用固定循环程序钻定位孔
N45  R100 = R100 + 1；孔计数器加 1
N50  R4 = R4 + R6；孔位置角度叠加一个角度均值
N55  IF R100 < = R5  GOTOB  MARKE1
     ；如果 R100（孔计数值）小于或等于 R5（孔数)，则程序跳转到 MARKE1
N60  RET；R 参数子程序结束，返回主程序
```

3. FANUC 0i 数控系统钻削圆弧点阵孔群的用户宏程序

自变量含义：

#1 = X_0；X_0—圆弧形中心的 X 坐标值（0.001mm）

#2 = Y_0；Y_0—圆弧形中心的 Y 坐标值（0.001mm）

#3 = I；I—圆弧半径（0.001mm）

#4 = A；A—第一个孔的起始角（0.001°）

#5 = H；H—圆周上孔数

#6 = D；D—均布孔间隔度数（D = 360/#5）

#7 = Z；Z—最终钻孔深度（Z）

#8 = R；R—接近加工表面安全距离（R）

#9 = F；F—钻孔进给速度（F）

```
O3326；宏程序名
N10  #100 = 1；赋孔计数器初值
N15  WHILE [#100LE#5]  DO1；#100（孔计数值）大于#5（孔数)，则程序跳转到
                                      N65 程序段
N20  #30 = #3 * COS [#4]；圆弧中心到圆弧上任意孔中心的横坐标值
N25  #31 = #1 + #30；圆弧上任意孔中心的工件绝对横坐标值
N30  #32 = #3 * SIN [#4]；圆弧中心到圆弧上任意孔中心的纵坐标值
N35  #33 = #2 + #32；圆弧上任意孔中心的工件绝对纵坐标值
N40  G90  G00  X#31  Y#33  F#9；刀具直线插补到圆弧上任意孔中心上方
N45  G81  Z#7  R#8  F#9  K0；调用固定循环程序钻定位孔
N50  #100 = #100 + 1；孔计数器加 1
N55  #4 = #4 + #6；孔位置角度叠加一个角度均值
N60  END1；返回循环体
N65  G80；取消固定循环
N70  M99；子程序结束，返回主程序
```

4. 编程举例

在铣床或加工中心上钻削图3-43所示一正方形零件上的圆弧点阵孔群。圆弧点阵孔群零件的圆弧中心绝对坐标为 $X_0=40.0$mm，$Y_0=30.0$mm，钻孔直径 $\phi7$mm，弧形半径 I = 30.0mm，孔间隔角度 D = 30°，第一孔的起始角 A = 15°，孔数 H = 4。试编写出其宏程序。

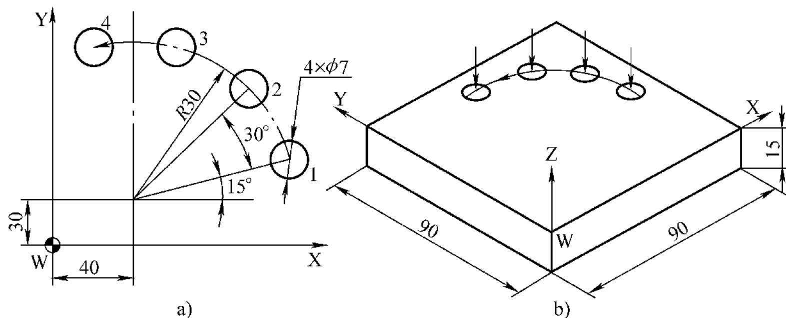


图3-43　圆弧点阵孔群编程实例零件钻削刀具位移路线示意图
a) 圆弧点阵孔群编程实例零件尺寸图　b) 效果图

解：

(1) 工艺设计　建立工件坐标系，工件左下角为工件坐标系 X、Y 轴的零点，工件表面为工件坐标系 Z 轴的零点，机床坐标系偏置值设置在 G54 寄存器中。

采用逆时针位移钻削方式钻削圆弧点阵孔群，选择 $\phi7$mm 的麻花钻，取主轴转速为 800r/min，钻削进给速度为 150mm/min，主轴起始位置在零件上方 50.0mm 处，刀具起始切削高度为 4.0mm，最终钻孔深度为 Z－20.0mm。根据不同数控系统，运用变量（或参数）直接赋值编制宏程序。

(2) 参考程序

1) HNC—21/22M 华中世纪星数控系统。

O××××；文件名

%××××；程序号

N10　T01　M06；调用1号刀

N15　G17　G90　G21　G94　G54　G40　G49　G80；工艺加工初始状态设置

N20　G43　G00　Z50.0 H01　S800　M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为 800r/min

N25　X0.0　Y0.0　M07；刀具快速移动到工件坐标零点，打开切削液

N30　#1 = 40.0；圆弧形中心的 X 坐标值（即 X_0）(0.001mm)

#2 = 30.0；圆弧形中心的 Y 坐标值（即 Y_0）(0.001mm)

#3 = 30.0；圆弧半径（即 I）(0.001mm)

#4 = 15.0；第一个孔的起始角（即 A）(0.001°)

#5 = 4.0；圆周上孔数（即 H）

#6 = 30.0；均布孔间隔度数 D

#7 = －20.0；最终钻孔深度（Z）

#8 = 4.0；接近加工表面安全距离（R）

#9 = 150.0；钻孔进给速度（F）
N32　M98　P3326；调用钻削圆弧点阵孔群的用户宏程序
N35　G00　Z100.0　M09；刀具退到工件上表面100mm处，切削液关闭
N40　G49；取消刀具长度补偿
N45　X0　Y0　M05；刀具退回工件坐标零点，主轴停止
N50　M30；程序结束并返回程序开头
%3326；圆弧点阵孔群钻削用户宏程序（见前面）
⋮
M99；子程序结束，返回主程序

2）SINUMERIK 802D数控系统。

FZG×××××；主程序名
N05　R1 = 40.0 ；圆弧形中心的X坐标值（即X_0）（0.001mm）
R2 = 30.0 ；圆弧形中心的Y坐标值（即Y_0）（0.001mm）
R3 = 30.0 ；圆弧半径（即I）（0.001mm）
R4 = 15.0 ；第一个孔的起始角（即A）（0.001°）
R5 = 4.0 ；圆周上孔数（即H）
R6 = 30 ；均布孔间隔度数D
R9 = 150.0 ；钻孔进给速度（F）
RTP = 50.0 ；后退平面（绝对值）
REP = 0 ；参考平面（绝对值）
SDIS = 4.0 ；安全间隙（无符号）
DP = -20.0 ；最终钻孔深度（绝对值）
DPR = 0 ；相当于参考平面的最后钻孔深度（无符号）
N10　T1　D1 ；调用1号刀，1号刀补
N15　G17　G90　G71　G94　G54　G40 ；工艺加工状态设置
N20　G00　Z50.0　S800　M03 ；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为800r/min
N25　X0.0　Y0.0　M07 ；刀具快速移动到工件坐标零点，打开切削液
N30　L3326 ；调用钻削圆弧点阵孔群的用户R参数程序
N35　G00　Z100.0　M09 ；刀具退到工件上表面100mm处，切削液关闭
N40　X0　Y0　M05 ；刀具退回工件坐标零点，主轴停止
N45　M02　；程序结束并返回程序开头
L3326；圆弧点阵孔群钻削用户R参数程序（见前面）
⋮
RET；R参数子程序结束，返回主程序

3）FANUC 0i数控系统。

O××××；主程序名
N05　#1 = 40.0；圆弧形中心的X坐标值（即X_0）（0.001mm）
#2 = 30.0；圆弧形中心的Y坐标值（即Y_0）（0.001mm）
#3 = 30.0；圆弧半径（即I）（0.001mm）

```
        #4 = 15.0；第一个孔的起始角（即 A）（0.001°）
        #5 = 4.0；圆周上孔数（即 H）
        #6 = 30.0；均布孔间隔度数 D
        #7 = -20.0；最终钻孔深度（Z）
        #8 = 4.0；接近加工表面安全距离（R）
        #9 = 150.0；钻孔进给速度（F）
N10  T01  M06 ；调用 1 号刀
N15  G17  G90  G21  G94  G54  G40  G49  G80 ；工艺加工状态设置
N20  G43  G00  Z50.0  H01  S800  M03 ；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为
                                        800r/min
N25  X0.0  Y0.0  M07 ；刀具快速移动到工件坐标零点，打开切削液
N30  G65  P3326 ；调用钻削圆弧点阵孔群的用户宏程序
N35  G00  Z100.0  M09 ；刀具退到工件上表面 100mm 处，切削液关闭
N40  G49 ；取消刀具长度补偿
N45  X0  Y0  M05 ；刀具退回工件坐标零点，主轴停止
N50  M30 ；程序结束并返回程序开头
O3326；圆弧点阵孔群钻削用户宏程序（见前面）
⋮
M99；子程序结束，返回主程序
```

3.3.2.7　圆环形点阵孔群宏程序编程

图 3-44 是在圆环形上均匀分布孔的一种零件。假设圆环形的中心坐标值为 X_0 和 Y_0，共有均布孔 H，所处圆环形的圆周半径为 I，第一个孔的起始角（即与 X 坐标的夹角）为 A。试用变量（或参数）编制圆环形点阵孔群钻（铣）削通用加工程序。

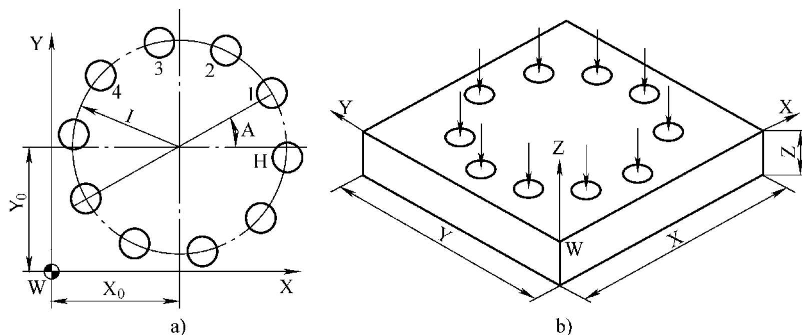


图 3-44　圆环形点阵孔群类零件钻削走刀路线示意图

a）圆环形点阵孔群零件图　b）效果图

由图 3-44 分析，可画出该宏程序的结构流程框图，如图 3-45 所示。

1. HNC—21/22M 华中世纪星数控系统钻削圆环形点阵孔群的用户宏程序

局部变量含义：

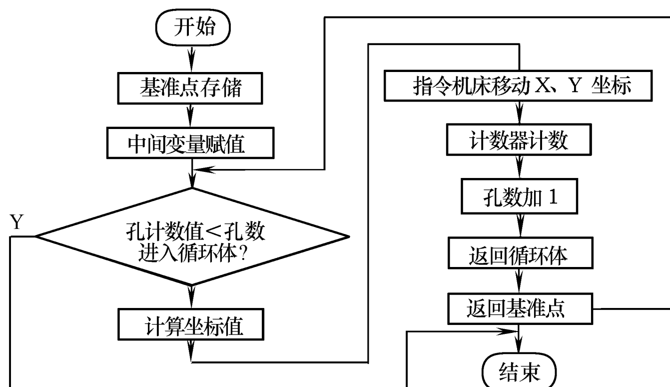


图 3-45　圆环形点阵孔群宏程序结构流程框图

#1 = X_0；圆环形中心的 X 绝对坐标值（即 X_0）（0.001mm）
#2 = Y_0；圆环形中心的 Y 绝对坐标值（即 Y_0）（0.001mm）
#3 = I ；圆环半径（即 I）（0.001mm）
#4 = A ；第一个孔的起始角（即与 X 坐标的夹角 A）（0.001°）
#5 = H ；圆周上孔数（即 H）
#6 = D ；均布孔间隔度数（D = 360°/圆周上孔数）
#7 = Z ；最终钻孔深度（Z）
#8 = R ；接近加工表面安全距离（R）
#9 = F ；钻孔进给速度（F）
#100 = 1；孔计数器置初始值
%3327；宏程序号
N010　WHILE #100LE#5；#100（孔计数值）大于#5（孔数），则程序跳转到 N090 程序段
N020　#30 = #1 + #3 * COS [#4 * PI/180]；圆环上任意孔中心的工件绝对横坐标值
N030　#31 = #2 + #3 * SIN [#4 * PI/180]；圆环上任意孔中心的工件绝对纵坐标值
N040　G90　G00　X[#30]　Y[#31]；刀具直线插补到圆环上任意孔中心上方
N050　G99　G81　X[#30]　Y[#31]　Z[#7]　R[#8]　F[#9]　K0；调用固定循环程序钻定位孔
N060　#100 = #100 + 1；孔计数器加 1
N070　#4 = #4 + #6；孔位置角度叠加一个角度均值
N080　ENDW；返回循环体
N090　G80；取消固定循环
N100　M99；子程序结束，返回主程序

2. SINUMERIK 802D 数控系统钻削圆环形点阵孔群的 R 参数程序

R 参数说明：
R1 = X_0；圆环形中心的 X 绝对坐标值（即 X_0）（0.001mm）

R2 = Y_0;圆环形中心的 Y 绝对坐标值(即 Y_0)(0.001mm)
R3 = I ;圆环半径(即 I)(0.001mm)
R4 = A ;第一个孔的起始角(即与 X 坐标的夹角 A)(0.001°)
R5 = H ;圆周上孔数(即 H)
R6 = D ;均布孔间隔度数(D = 360°/圆周上孔数)
R7 = Z ;最终钻孔深度(Z)
R8 = R ;接近加工表面安全距离(R)
R9 = F ;钻孔进给速度(F)
R10 = 1 ;孔计数器置初始值
L3327.SPF;R 参数程序名

```
N10   MARKE1:R30 = R1 + R3 * COS(R4) ;圆环上任意孔中心的工件绝对横坐标值
N15   R31 = R2 + R3 * SIN(R4) ;圆环上任意孔中心的工件绝对纵坐标值
N20   G90   G00   X = R30   Y = R31;刀具直线插补到圆环上任意孔中心上方
N30   Z = R8;下降到安全高度
N40   G01   Z = R7   F = R9 ;以工进速度钻削定位孔
N50   G00   Z = R8;刀具快速抬起到安全高度
N60   R10 = R10 + 1 ;孔计数器加 1
N70   R4 = R4 + R6 ;孔位置角度叠加一个角度均值
N80   IF R10 < = R5 GOTOB MARKE1
      ;如果 R10(孔计数值)小于或等于 R5(孔数),则程序跳转到 MARKE1
N90   RET;子程序结束,返回主程序
```

3. FANUC 0i 数控系统钻削圆环形点阵孔群的用户宏程序

自变量含义:
#1 = X_0;圆环形中心的 X 绝对坐标值(即 X_0)(0.001mm)
#2 = Y_0;圆环形中心的 Y 绝对坐标值(即 Y_0)(0.001mm)
#3 = I ;圆环半径(即 I)(0.001mm)
#4 = A ;第一个孔的起始角(即与 X 坐标的夹角 A)(0.001°)
#5 = H ;圆周上孔数(即 H)
#6 = D ;均布孔间隔度数(D = 360°/圆周上孔数)
#7 = Z ;最终钻孔深度(Z)
#8 = R ;接近加工表面安全距离(R)
#9 = F ;钻孔进给速度(F)
#100 = 1 ;孔计数器置初始值
O3327;宏程序名

```
N010   WHILE [#100LE#5] DO1;#100(孔计数值)大于#5(孔数),则程序跳转到 N090 程
                                序段
N020   #30 = #1 + #3 * COS[#4];圆环上任意孔中心的工件绝对横坐标值
N030   #31 = #2 + #3 * SIN[#4];圆环上任意孔中心的工件绝对纵坐标值
N040   G90   G00   X#30   Y#31;刀具直线插补到圆环上任意孔中心上方
```

N050　G99　G81　Z#7　R#8　F#9　K0;调用固定循环程序钻定位孔

N060　#100 = #100 + 1;孔计数器加 1

N070　#4 = #4 + #6;孔位置角度叠加一个角度均值

N080　END1;返回循环体

N090　G80;取消固定循环

N100　M99;子程序结束,返回主程序

4. 编程举例

在铣床或加工中心上钻削图 3-46 所示一正方形零件上的圆环形点阵孔群。圆环形点阵孔群零件的圆环中心绝对坐标为 X_0 = 35.0mm、Y_0 = 35.0mm,钻孔直径 φ8mm,环形半径 I = 30.0mm,起始角 α = 30°,孔数 H = 10。试编写出其宏程序。

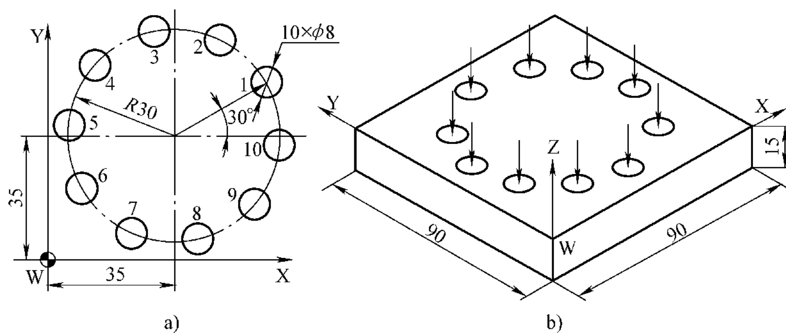


图 3-46　圆环形点阵孔群编程实例零件钻削走刀路线示意图

a）圆环形点阵孔群编程实例零件尺寸图　b）效果图

解:

（1）工艺设计　建立工件坐标系,工件左下角为工件坐标系 X、Y 轴的零点,工件表面为工件坐标系 Z 轴的零点,机床坐标系偏置值设置在 G54 寄存器中。

采用逆时针位移钻削方式钻削圆环形点阵孔群,选择 φ8mm 的麻花钻,取主轴转速为 800r/min,钻削进给速度为 150mm/min,主轴起始位置在零件上方 50.0mm 处,刀具起始切削高度 4.0mm,最终钻孔深度 Z -20.0mm。根据不同数控系统,运用变量(或参数)直接赋值编制宏程序。

（2）参考程序

1）HNC—21/22M 华中世纪星数控系统。

O××××;文件名

%××××;程序号

N10　T01　M06;调用 1 号刀

N15　G17　G90　G21　G94　G54　G40　G49　G80;工艺加工初始状态设置

N20　G43　G00　Z50.0　H01　S800　M03;建立刀具长度补偿,主轴正转,转速为

800r/min

N25　X0.0　Y0.0　M07 ;刀具快速移动到工件坐标零点,打开切削液

N30　#1 = 35.0 ;圆环形中心的 X 坐标值(即 X_0)(0.001mm)

#2 = 35.0 ;圆环形中心的 Y 坐标值(即 Y_0)(0.001mm)

#3 = 30.0 ;圆环半径(即 I)(0.001mm)

#4 = 30.0 ;第一个孔的起始角(即与 X 坐标的夹角 A)(0.001°)

#5 = 10.0 ;圆周上孔数(即 H)

#6 = 30.0 ;均布孔间隔度数(D = 360°/10)

#7 = -20.0 ;最终钻孔深度(Z)

#8 = 4.0 ;接近加工表面安全距离(R)

#9 = 150.0 ;钻孔进给速度(F)

#100 = 1 ;孔计数器置初始值

N35　M98　P3327 ;调用钻削圆环形点阵孔群的用户宏程序

N40　G00　Z100.0　M09 ;刀具退到工件上表面 100mm 处,切削液关闭

N45　G49 ;取消刀具长度补偿

N50　X0　Y0　M05 ;刀具退回工件坐标零点,主轴停止

N55　M30 ;程序结束并返回程序开头

%3327;圆环点阵孔群钻削用户宏程序(见前面)

⋮

M99;子程序结束,返回主程序

2) SINUMERIK 802D 数控系统。

FZG × × × × ×;主程序名

N05　R1 = 35.0 ;圆环形中心的 X 绝对坐标值(即 X_0)(0.001mm)

R2 = 35.0 ;圆环形中心的 Y 绝对坐标值(即 Y_0)(0.001mm)

R3 = 30.0 ;圆环半径(即 I)(0.001mm)

R4 = 30.0 ;第一个孔的起始角(即与 X 坐标的夹角 A)(0.001°)

R5 = 10.0 ;圆周上孔数(即 H)

R6 = 30.0 ;均布孔间隔度数(D = 360°/10)

R7 = -20.0 ;最终钻孔深度(Z)

R8 = 4.0 ;接近加工表面安全距离(R)

R9 = 150.0 ;钻孔进给速度(F)

R10 = 1 ;孔计数器置初始值

N10　T1　D1 ;调用 1 号刀,1 号刀补

N15　G17　G90　G71　G94　G54　G40 ;工艺加工状态设置

N20　G00　Z50.0　S800　M03 ;建立刀具长度补偿,主轴正转,转速为 800r/min

N25　X0.0　Y0.0　M07 ;刀具快速移动到工件坐标零点,打开切削液

N30　L3327 ;调用钻削圆环形点阵孔群的用户 R 参数子程序

N35　G00　Z100.0　M09 ;刀具退到工件上表面 100mm 处,切削液关闭

N40　X0　Y0　M05 ;刀具退回工件坐标零点,主轴停止

```
N45  M02 ;程序结束并返回程序开头
L3327;圆环点阵孔群钻削用户 R 参数子程序(见前面)
 ⋮
RET;R 参数子程序结束,返回主程序
```

3) FANUC 0i 数控系统。

```
O××××;主程序名
N05  #1=35.0 ;圆环形中心的 X 坐标值(即 X0)(0.001mm)
     #2=35.0 ;圆环形中心的 Y 坐标值(即 Y0)(0.001mm)
     #3=30.0 ;圆环半径(即 I)(0.001mm)
     #4=30.0 ;第一个孔的起始角(即 A)(0.001°)
     #5=10.0 ;圆周上孔数(即 H)
     #6=30.0 ;均布孔间隔度数 D
     #7=-20.0 ;最终钻孔深度(Z)
     #8=4.0 ;接近加工表面安全距离(R)
     #9=150.0 ;钻孔进给速度(F)
N10  T01  M06 ;调用 1 号刀
N15  G17  G90  G21  G94  G54  G40  G49  G80 ;工艺加工状态设置
N20  G43  G00  Z50.0  H01  S800  M03 ;建立刀具长度补偿,主轴正转,转速为
                                      800r/min
N25  X0.0  Y0.0  M07 ;刀具快速移动到工件坐标零点,打开切削液
N30  G65  P3327 ;调用钻削圆环形点阵孔群的用户宏程序
N35  G00  Z100.0  M09 ;刀具退到工件上表面 100mm 处,切削液关闭
N40  G49 ;取消刀具长度补偿
N45  X0  Y0  M05 ;刀具退回工件坐标零点,主轴停止
N50  M30 ;程序结束并返回程序开头
O3327;圆环点阵孔群钻削用户宏程序(见前面)
 ⋮
M99;子程序结束,返回主程序
```

3.3.2.8 交错排列的网格点阵孔群宏程序编程

图 3-47 是在一长方形零件上进行交错排列的网格点阵孔群钻(铣)削加工。假设点阵孔群排列成行,共有行 m,每行孔数交替 n 与(n-1)个,孔位交错排列,相邻各行孔的位置在 X 坐标上偏移半个孔距。

设孔距为 a,行距为 b,左下角的第一个孔与工件坐标系原点的距离为 X_0、Y_0,X_T 为偶数行内最右边那个孔的 X 坐标值,则

$$X_T = X_0 + (n-1)a - (a/2) = X_0 + (n-1.5)a$$

为了减少空行程时间，第 1 行从左至右逐个加工，第 2 行则从右至左逐个加工，这样交替进行，空行程时间最短。为此，在框图中要对行数作奇偶判别。令每行的序数减 1 等于 j，当 j 为偶数时（包括 0），从左至右逐个加工；当 j 为奇数时，从右至左逐个加工。

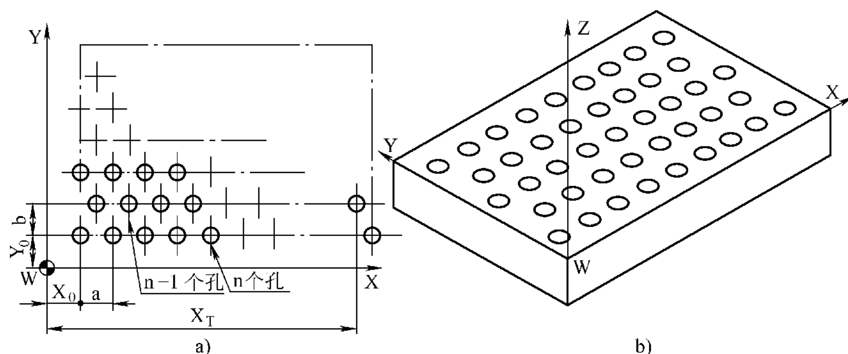


图 3-47　交错排列的网格点阵孔群类零件走刀路线示意图

a）交错排列的网格点阵孔群类零件图　b）效果图

由以上分析，可画出该宏程序的结构流程框图，如图 3-48 所示。

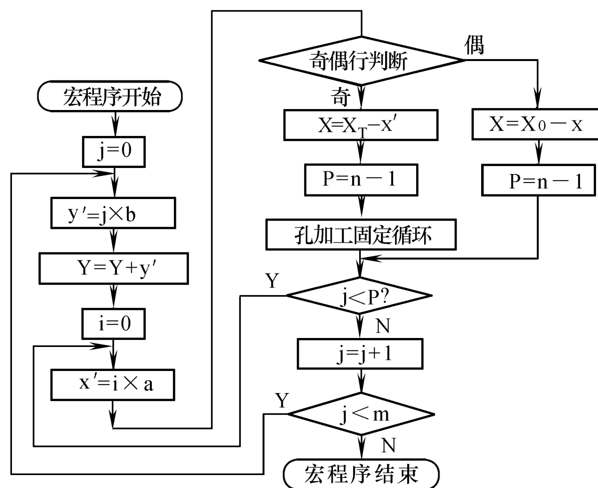


图 3-48　交错排列的网格点阵孔群的用户宏程序结构流程框图

1. HNC—21/22M 华中世纪星数控系统对交错排列的网格点阵孔群零件的用户宏程序

局部变量含义：

#1 = X_0；左下角孔的 X 绝对坐标值（即 X_0）

#2 = Y_0；左下角孔的 Y 绝对坐标值（即 Y_0）

#3 = X_T；图 3-47 中的 X_T 值

#4 = b ；各行的距离（即 b）

#5 = a ；孔距（即 a）

#6 = n ；孔数（即 n）

#7 = m ；行数（即 m）

#8 = Z ；最终钻孔深度

#9 = R ；刀具离工件表面的安全距离

```
#10 = F ；进给速度
#107 = #6 ；
% × × × ×；程序号
N010   #100 = 0；行计数器置零
N015   WHILE #100LT#7；当#100 大于或等于#7 时，则程序跳转到 N105 程序段
N020   #101 = #100 * #4；第 i 个行距和
N025   #102 = #2 + #101；当前 Y 的坐标值
N030   #104 = 0；列计数器置零
N035   WHILE #104LT#107；当#104 大于或等于#107 时，则程序跳转到 N095 程序段
N040   #105 = #104 * #5；第 j 个列距和
N045   #111 = #100 - 2 * TRUNC [#100/2]；取余数
N050   IF #111EQ0；当#111 = 0 时，则程序转移到 N070 程序段
N055   #106 = #3 - #105；计算第 j 个孔的 X 坐标值
N060   #107 = #6 - 1；孔数减 1
N065   ELSE；
N070   #106 = #1 + #105；第 j 个孔的 X 坐标值
       #107 = #6；将孔数（即 n）值赋给中间变数#107
N075   ENDIF；
N080   G90   G99   G81   X[#106]   Y[#102]   Z[#8]   R[#9]   F[#10]；执行孔加工固定循环
N085   #104 = #104 + 1；列计数器加 1
N090   ENDW；返回循环体
N095   #100 = #100 + 1；行计数器加 1
N100   ENDW；返回循环体
N105   G80；取消固定循环
N110   M99；返回主程序
```

2. SINUMERIK 802D 数控系统对交错排列的网格点阵孔群零件的用户 R 参数程序

R 参数含义：

R1 = X_0；左下角孔的 X 绝对坐标值（即 X_0）

R2 = Y_0；左下角孔的 Y 绝对坐标值（即 Y_0）

R3 = X_T；图 3-47 中的 X_T 值

R4 = b ；各行的距离（即 b）

R5 = a ；孔距（即 a）

R6 = n ；孔数（即 n）

R7 = m ；行数（即 m）

R8 = Z ；最终钻孔深度

R9 = R ；刀具离工件表面的安全距离

R10 = F ；进给速度

R107 = R6；

RTP =50；后退平面（绝对值）
REP =0；参考平面（绝对值）
SDIS =0；安全间隙（无符号）
DP = Z；最终钻孔深度（绝对值）
DPR = Z；相当于参考平面的最后钻孔深度（无符号）
L3328. SPF；R 参数子程序名
N010　R100 =0；行计数器置零
N020　MARKE3：R101 = R100 * R4；第 i 个行距和
N025　R102 = R2 + R101；当前 Y 的坐标值
N030　R104 =0；列计数器置零
N035　MARKE2：R105 = R104 * R5；第 j 个列距和
N040　R111 = R100 -2 * TRUNC（R100/2）；取余数
N045　IF R111 = =0 GOTOF MARKE1；当 R111 =0 时，则程序转移到 N065MARKE1 程序段
N050　R106 = R3 - R105；计算第 j 个孔的 X 坐标值
N055　R107 = R6 -1；孔数减 1
N060　GOTOF　MARKE0；无条件转移到 N075 程序段
N065　MARKE1：R106 = R1 + R105；第 j 个孔的 X 坐标值
N070　R107 = R6；将孔数（即 n）值赋给中间变数 R107
N075　MARKE0：G90　G99　G81　X = R106　Y = R102；执行孔加工
N078　CYCL81（RTP，REP，SDIS，DP，DPR）；调用固定循环程序钻定该孔
N080　Z = R9；快速下降到安全高度
N085　Z = R8　F = R10；以工进速度 R10 切削进给到最终深度
N090　G00　Z = R9；快速退回到安全高度
N095　R104 = R104 +1；列计数器加 1
N100　IF R104 < R107　GOTOB　MARKE2；当 R104 < R107 时，则程序转移到标志符 MARKE2
N105　R100 = R100 +1；行计数器加 1
N110　IF R100 < R7　GOTOB　MARKE3；当 R100 < R7 时，则程序转移到标志符 MARKE3
N120　RET；R 参数子程序结束，返回主程序

3. FANUC 0i 数控系统对该零件的用户宏程序

自变量含义：
#1 = X_0；左下角孔的 X 绝对坐标值（即 X_0）
#2 = Y_0；左下角孔的 Y 绝对坐标值（即 Y_0）
#3 = X_T；图 3-47 中的 X_T 值
#4 = b；各行的距离（即 b）
#5 = a；孔距（即 a）
#6 = n；孔数（即 n）

#7 = m ；行数（即 m）

#8 = Z ；最终钻孔深度

#9 = R ；刀具离工件表面的安全距离

#10 = F ；进给速度

O3328；宏程序名

N010　#100 = 0；行计数器置零

N020　#101 = #100 * #4；第 i 个行距和

N025　#102 = #2 + #101；当前 Y 的坐标值

N030　#104 = 0；列计数器置零

N035　#105 = #104 * #5；第 j 个列距和

N040　#111 = #100 - 2 * TRUNC（#100/2）；取余数

N045　IF [#111EQ0]　GOTO 065；当#111 = 0 时，则程序转移到 N065 程序段

N050　#106 = #3 - #105；计算第 j 个孔的 X 坐标值

N055　#107 = #6 - 1；孔数减 1

N060　GOTO 075；无条件转移到 N075 程序段

N065　#106 = #1 + #105；第 j 个孔的 X 坐标值

N070　#107 = #6；将孔数（即 n）值赋给中间变数#107

N075　G90　G99　G81　X#106　Y#102　Z#8　R#9　F#10；执行孔加工固定循环

N080　#104 = #104 + 1；列计数器加 1

N085　IF [#104LT#107]　GOTO 035；当#104 小于#107 时，则程序转移到 N035 程序段

N090　#100 = #100 + 1；行计数器加 1

N095　IF [#100LT#7]　GOTO 020；当#100 小于#7 时，则程序转移到 N020 程序段

N100　G80；取消固定循环

N105　M99；返回主程序

4. 编程举例

在铣床或加工中心上钻削图 3-49 所示一长方形零件上交错排列的网格点阵孔群。交错

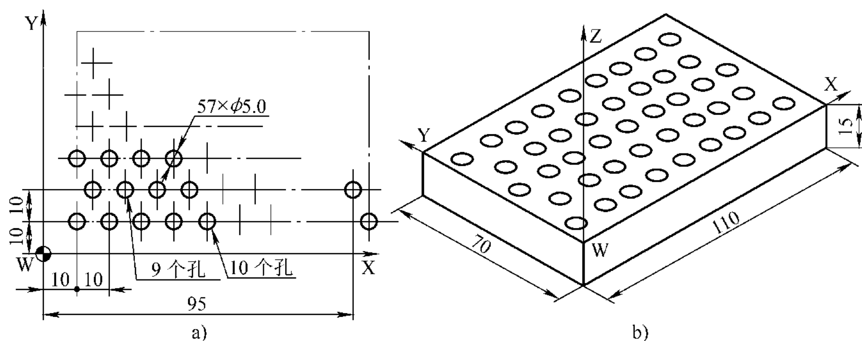


图 3-49　交错排列的网格点阵孔群编程实例零件走刀路线示意图

a）零件尺寸图　b）效果图

排列的网格点阵孔群排列共有 6 行，每行孔数交替 10 与（10－1）个，孔位交错排列，相邻各行孔的位置在 X 坐标上偏移半个孔距。孔距为 10.0mm，行距为 10.0mm，左下角的第 1 个孔与工件坐标系原点的距离为（10，10），偶数行内最右边那个孔距离工件坐标原点的 X 坐标值为 95.0mm。试编写出其宏程序。

解：

（1）工艺设计　建立工件坐标系，工件左下角为工件坐标系 X、Y 轴的零点，工件表面为工件坐标系 Z 轴的零点，机床坐标系偏置值设置在 G54 寄存器中。

为了减少空行程时间，采用第 1 行从左至右逐个钻削加工，第 2 行则从右至左逐个钻削加工，这样交替进行交错排列的网格点阵孔群的加工。选择 ϕ5mm 的麻花钻，取主轴转速为 800r/min，钻削进给速度为 150mm/min，主轴起始位置在零件上方 50.0mm 处，刀具起始切削高度为 4.0mm，最终钻孔深度为 Z－20.0mm。根据不同数控系统，运用变量（或参数）直接赋值编制宏程序。

（2）参考程序

1）HNC—21/22M 华中世纪星数控系统。

```
O××××；文件名
%××××；主程序号
N10  T01  M06；调用 1 号刀
N15  G17  G90  G21  G94  G54  G40  G49  G80；工艺加工初始状态设置
N20  G43  G00  Z50.0  H01  S800  M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为
                                     800r/min
N25  X0.0  Y0.0  M07；刀具快速移动到工件坐标零点，打开切削液
N30  #1=10.0；左下角孔的 X 绝对坐标值（即 X0）
     #2=10.0；左下角孔的 Y 绝对坐标值（即 Y0）
     #3=95.0；图 3-47 中的 XT 值
     #4=10.0；各行的距离（即 b）
     #5=10.0；孔距（即 a）
     #6=10.0；孔数（即 n）
     #7=6.0；行数（即 m）
     #8=－20.0；最终钻孔深度
     #9=4.0；刀具离工件表面的安全距离
     #10=150.0；进给速度
     #107=#6；孔数初始值赋给中间变量#107
N35  M98  P3328；调用钻削交错排列的网格点阵孔群的用户宏程序
N40  G00  Z100.0  M09；刀具退到工件上表面 100mm 处，切削液关闭
N45  G49；取消刀具长度补偿
N50  X0  Y0  M05；刀具退回工件坐标零点，主轴停止
N55  M30；程序结束并返回程序开头
%3328；交错排列的网格孔群钻削用户宏程序（见前面）
⋮
```

M99；子程序结束，返回主程序

2）SINUMERIK 802D 数控系统。

FZG×××××；主程序名

N05　R1 =10.0　R2 =10.0　R3 =95.0　R4 =10.0　R5 =10.0　R6 =10　R7 =6.0
　　R8 = -20.0　R9 =4.0　R10 =150.0　R107 =R6；参数设置

N10　T1　D1；调用 1 号刀，1 号刀补

N15　G17　G90　G71　G94　G54　G40；工艺加工状态设置

N20　G00　Z50.0　S800　M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为 800r/min

N25　X0.0　Y0.0　M07；刀具快速移动到工件坐标零点，打开切削液

N30　L3328；调用钻削交错排列的网格点阵孔群的用户 R 参数子程序

N35　G00　Z100.0　M09；刀具退到工件上表面 100mm 处，切削液关闭

N40　X0　Y0　M05；刀具退回工件坐标零点，主轴停止

N45　M02；程序结束并返回程序开头

L3328；交错排列的网格孔群钻削用户 R 参数子程序（见前面）

⋮

RET；R 参数子程序结束，返回主程序

3）FANUC 0i 数控系统。

O××××；主程序名

N05　#1 =10.0；左下角孔的 X 绝对坐标值（即 X_0）
　　#2 =10.0；左下角孔的 Y 绝对坐标值（即 Y_0）
　　#3 =95.0；图 3-47 中的 X_T 值
　　#4 =10.0；各行的距离（即 b）
　　#5 =10.0；孔距（即 a）
　　#6 =10.0；孔数（即 n）
　　#7 =6.0；行数（即 m）
　　#8 = -20.0；最终钻孔深度
　　#9 =4.0；刀具离工件表面的安全距离
　　#10 =150.0；进给速度
　　#107 =#6；孔数初始值赋给中间变量#107

N10　T01　M06；调用 1 号刀

N15　G17　G90　G21　G94　G54　G40 G49 G80；工艺加工状态设置

N20　G43　G00　Z50.0　H01　S800　M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为 800r/min

N25　X0.0　Y0.0　M07；刀具快速移动到工件坐标零点，打开切削液

N30　G65　P3328；调用钻削交错排列的网格点阵孔群的用户宏程序

N35　G00　Z100.0 M09；刀具退到工件上表面 100mm 处，切削液关闭

N40　G49；取消刀具长度补偿

N45　X0　Y0　M05；刀具退回工件坐标零点，主轴停止

N50　M30；程序结束并返回程序开头

O3328；交错排列的网格孔群钻削用户宏程序（见前面）

⋮

M99；子程序结束，返回主程序

3.3.3　外轮廓侧面铣削宏程序编程实例

3.3.3.1　圆形零件外轮廓侧面铣削宏程序编程

编制一个通用类宏程序，铣削加工图 3-50 所示圆形外轮廓侧面。假设圆形零件的圆弧中心点的横坐标绝对值为 X_0，纵坐标绝对值为 Y_0，Z 为垂向最终加工深度，R 为刀具端齿离开零件毛坯上表面的垂向坐标绝对值，I 为圆形外轮廓的半径，D 为加工零件的刀具半径，C 为刀具接近及离开零件的间隙（C≥刀具半径）。

由图 3-50 分析，可画出该宏程序的结构流程框图，如图 3-51 所示。

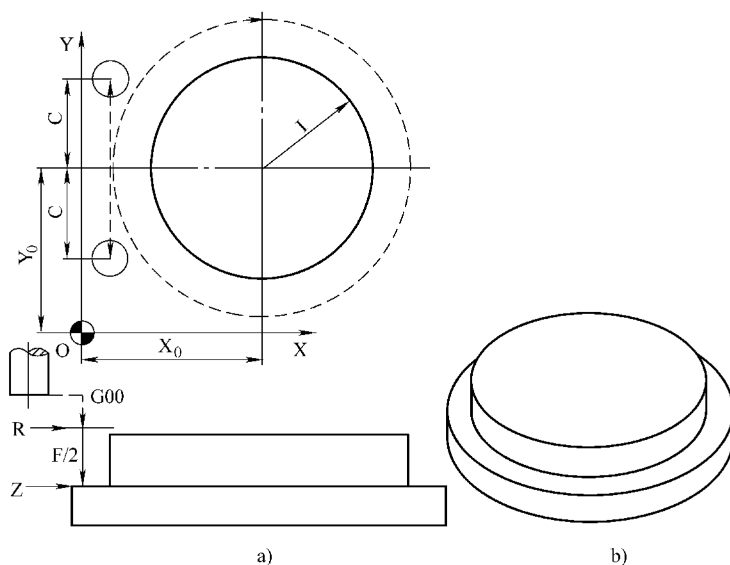


图 3-50　圆形外轮廓零件侧面铣削走刀路线示意图

a）零件图　b）效果图

1. HNC—21/22M 华中世纪星数控系统对圆形零件外轮廓侧面铣削的用户宏程序

局部变量含义：

#23 = X_0；X_0—工件圆弧中心点的横坐标绝对值

#24 = Y_0；Y_0—工件圆弧中心点的纵坐标绝对值

#25 = Z；Z—垂直方向最终加工深度尺寸值

#17 = R；R—刀具在工件上方的安全高度

#8 = I；I—圆形外轮廓半径

#3 = D；D—刀具半径

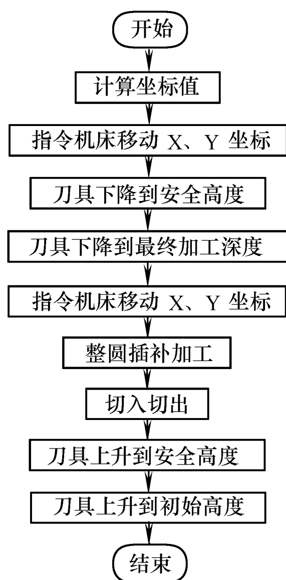


图 3-51　圆形外轮廓铣削用户宏程序结构流程框图

#2 = C；C—刀具接近及离开零件的间隙（C≥刀具半径）

#5 = F；F—切削进给速度

%3331；宏程序号

N010　G90　G00　X[#23 - [#8 + #3]]　Y[#24 + #2]；刀具快速移至工件毛坯左上角

N015　Z[#17]；刀具快速下降至工件上方的安全高度

N020　G01　Z[#25]　F[#5/2]；刀具以工进速度下降至工件最终加工深度

N025　X[#23 - [#8 + #3]]　Y[#24]　F[#5]；切线切入至工件轮廓侧面

N030　G03　I[#8 + #3]；整圆顺铣加工

N035　G01　X[#23 - [#8 + #3]]　Y[#24 - #2]；沿工件轮廓侧面切线切出

N040　G00　G90　Z50；刀具快速抬起

N045　M99；宏子程序结束并返回主程序

2. SINUMERIK 802D 数控系统对圆形零件外轮廓侧面铣削的用户 R 参数程序

R 参数含义：

R1 = X_0；X_0—工件圆弧中心点的横坐标绝对值

R2 = Y_0；Y_0—工件圆弧中心点的纵坐标绝对值

R3 = Z；Z—垂直方向最终加工深度尺寸值

R4 = R；R—刀具在工件上方的安全高度

R5 = I；I—圆形外轮廓半径

R6 = D；D—刀具半径

R7 = C；C—刀具接近及离开零件的间隙（C≥刀具半径）

R8 = F；F—切削进给速度

L3331. SPF；R 参数程序名

N010　G90　G00　X = R1 – [R5 + R6]　Y = R2 + R7；刀具快速移至工件毛坯左上角

N015　Z = R4；刀具快速下降至工件上方的安全高度

N020　G01　Z = R3　F = R8/2；刀具以工进速度下降至工件最终加工深度

N025　X = R1 – [R5 + R6]　Y = R2　F = R8；切线切入至工件轮廓侧面

N030　G03　I = R5 + R6；整圆顺铣加工

N035　G01　X = R1 – [R5 + R6]　Y = R2 – R7；沿工件轮廓侧面切线切出

N040　G00　G90　Z50；刀具快速抬起

N045　RET；参数子程序结束并返回主程序

3. FANUC 0i 数控系统对圆形零件外轮廓侧面铣削的用户宏程序

自变量含义：

#24 = X_0；X_0—工件圆弧中心点的横坐标绝对值

#25 = Y_0；Y_0—工件圆弧中心点的纵坐标绝对值

#26 = Z；Z—垂直方向最终加工深度尺寸值

#18 = R；R—刀具在工件上方的安全高度

#4 = I；I—圆形外轮廓半径

#7 = D；D—刀具半径

#3 = C；C—刀具接近及离开零件的间隙（C≥刀具半径）

#9 = F；F—切削进给速度

O3331；宏程序名

N010　G90　G00　X[#24 – [#4 + #7]]　Y[#25 + #3]
　　　；刀具快速移至工件毛坯左上角 [X –(I + D)]，(Y + C)

N015　Z#18；刀具快速下降至工件上方的安全高度

N020　G01　Z#26　F[#9/2]；刀具以工进速度下降至工件最终加工深度

N025　X [#24 – [#4 + #7]]　Y#25　F#9；切线切入至工件轮廓侧面 [X –(I + D)]

N030　G03　I[#4 + #7]；整圆顺铣加工

N035　G01　X[#24 – [#4 + #7]]　Y[#25 – #3]；沿工件轮廓侧面切线切出 [X –(I + D)]，(Y – C)

N040　G00　G90　Z50；刀具快速抬起

N045　M99；宏子程序结束并返回主程序

注意：

1）刀具半径值 D 必须大于 0。

2）间隙量 C 不能小于刀具半径值 D。

3）程序中没有使用刀具半径补偿指令（G41、G42、G40）。

4. 编程举例

在铣床或加工中心上加工图 3-52 所示圆形零件外轮廓侧面。圆形外轮廓直径 ϕ100mm，深 10. 0mm。试用变量（或参数）编写出加工此零件的数控程序。

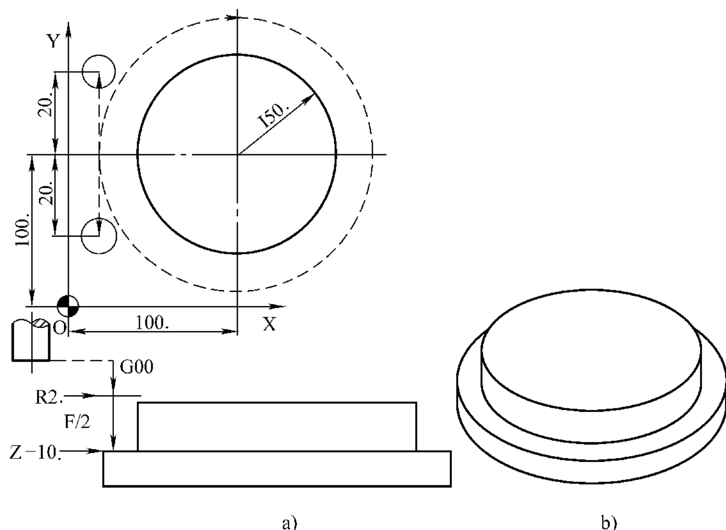


图 3-52 圆形外轮廓侧面铣削编程实例刀具路线示意图

a) 尺寸图 b) 效果图

解：

(1) 工艺设计 建立工件坐标系，零件圆弧中心在工件坐标系中的 X、Y 绝对坐标为 (100.0，100.0)，工件表面为工件坐标系 Z 轴的零点，机床坐标系偏置值设置在 G54 寄存器中。

采用顺铣方式铣削圆形零件外轮廓侧面，沿轮廓延长线切入与切出；铣削刀具选择 ϕ20mm 的立铣刀，取主轴转速为 500r/min，铣削进给速度为 150mm/min；主轴起始位置在零件上方 50.0mm 处，刀具起始切削高度为 2.0mm，最终加工位置为 Z－10.0mm。根据不同数控系统，运用变量引数赋值和参数直接赋值编制加工程序。

(2) 零件加工程序

1) HNC—21/22M 华中世纪星数控系统。

局部变量含义：

#23＝100.0；工件圆弧中心点的横坐标绝对值

#24＝100.0；工件圆弧中心点的纵坐标绝对值

#25＝－10.0；垂直方向最终加工深度尺寸值

#17＝2.0；刀具在工件上方的安全高度

#8＝100.0；圆形外轮廓半径

#3＝10.0；刀具半径

#2＝20.0；刀具接近及离开零件的间隙（C≥刀具半径）

#5＝150.0；切削进给速度

主程序如下：

O××××；文件名

%××××；程序号

N10 T01 M06；调用 1 号刀具

N15　G17　G90　G21　G94　G54　G40　G49　G80；工艺加工状态设置

N20　G43　G00　Z50.0　H01　S500　M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为500r/min

N25　X0　Y0　M07；刀具快速移动到工件坐标零点，打开切削液

N30　M98　P3331　X100.0　Y100.0　Z－10.0　R2.0　I50.0　C20.0　D10.0　F150；调用加工圆形外轮廓侧面的宏子程序

N35　G00　Z100.0　M09；刀具退到工件上表面100mm处，切削液关闭

N40　G49；取消刀具长度补偿

N45　G00　X0　Y0　M05；刀具退回工件坐标零点，主轴停止

N50　M30；程序结束并返回程序开头

%3331；圆形外轮廓侧面铣削用户宏程序（见前面）

⋮

M99；子程序结束，返回主程序

2）SINUMERIK 802D数控系统。

主程序如下：

FZG×××××；程序名

N05　R1＝100.0；工件圆弧中心点的横坐标绝对值

R2＝100.0；工件圆弧中心点的纵坐标绝对值

R3＝－10.0；垂直方向最终加工深度尺寸值

R4＝2.0；刀具在工件上方的安全高度

R5＝100.0；圆形外轮廓半径

R6＝10.0；刀具半径

R7＝20.0；刀具接近及离开零件的间隙（R7≥刀具半径）

R8＝150.0；切削进给速度

N10　T01　M06；调用1号刀具

N15　G17　G90　G71　G94　G54　G40；工艺加工状态设置

N20　G00　Z50.0　D01　S500　M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为500r/min

N25　X0　Y0　M07；刀具快速移动到工件坐标零点，打开切削液

N30　L3331；调用加工圆形外轮廓侧面的R参数子程序

N35　G00　Z100.0　M09；刀具退到工件上表面100mm处，切削液关闭

N40　D00；取消刀具长度补偿

N45　G00　X0　Y0　M05；刀具退回工件坐标零点，主轴停止

N50　M02；程序结束并返回程序开头

L3331；圆形外轮廓侧面铣削用户R参数子程序（见前面）

⋮

RET；R参数子程序结束，返回主程序

3）FANUC 0i数控系统。

自变量含义：

#24＝100.0；工件圆弧中心点的横坐标绝对值

#25 = 100.0；工件圆弧中心点的纵坐标绝对值
#26 = －10.0；垂直方向最终加工深度尺寸值
#18 = 2.0；刀具在工件上方的安全高度
#4 = 100.0；圆形外轮廓半径
#7 = 10.0；刀具半径
#3 = 20.0；刀具接近及离开零件的间隙（C≥刀具半径）
#9 = 100.0；切削进给速度
主程序如下：
O××××；程序名
N10　T01　M06；调用 1 号刀具
N15　G17　G90　G21　G94　G54　G40　G49　G80；工艺加工状态设置
N20　G43　G00　Z50.0　H01　S500　M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为 500r/min
N25　X0　Y0　M07；刀具快速移动到工件坐标零点，打开切削液
N30　G65　P3331　X100.0　Y100.0　Z－10.0　R2.0　I100.0　C20.0　D10.0　F150；调用加工圆形外轮廓侧面的宏子程序
N35　G00　Z100.0　M09；刀具退到工件上表面 100mm 处，切削液关闭
N40　G49；取消刀具长度补偿
N45　G00　X0　Y0　M05；刀具退回工件坐标零点，主轴停止
N50　M30；程序结束并返回程序开头
O3331；圆形外轮廓侧面铣削用户宏程序（见前面）
⋮
M99；子程序结束，返回主程序
说明：通过改变刀具半径来对零件进行粗、精加工。

3.3.3.2　长方形外轮廓侧面铣削宏程序编程

编制一个通用程序，加工图 3-53 所示长方形外轮廓侧面类零件。假设长方形外轮廓加工长度最终尺寸为 U，长方形外轮廓加工宽度最终尺寸为 V，X_0 为长方形零件中心点的横坐标绝对值，Y_0 为长方形零件中心点的纵坐标绝对值，最终加工深度为 Z，长方形零件圆角半径为 I，刀具端齿离开零件毛坯上表面的垂向坐标绝对值为 R，切入圆半径为 C（C > D），加工零件的刀具半径为 D，S 为快速接近速度，F 为切削进给速度，切削方向为顺铣。

由图 3-53 分析，可画出该宏程序的结构流程框图，如图 3-54 所示。

1. HNC—21/22M 华中世纪星数控系统对长方形外轮廓侧面铣削的用户宏程序

局部变量含义：
#20 = U；U—长方形外轮廓加工长度最终尺寸
#21 = V；V—长方形外轮廓加工宽度最终尺寸
#23 = X_0；X_0—长方形零件中心点的横坐标绝对值
#24 = Y_0；Y_0—长方形零件中心点的纵坐标绝对值

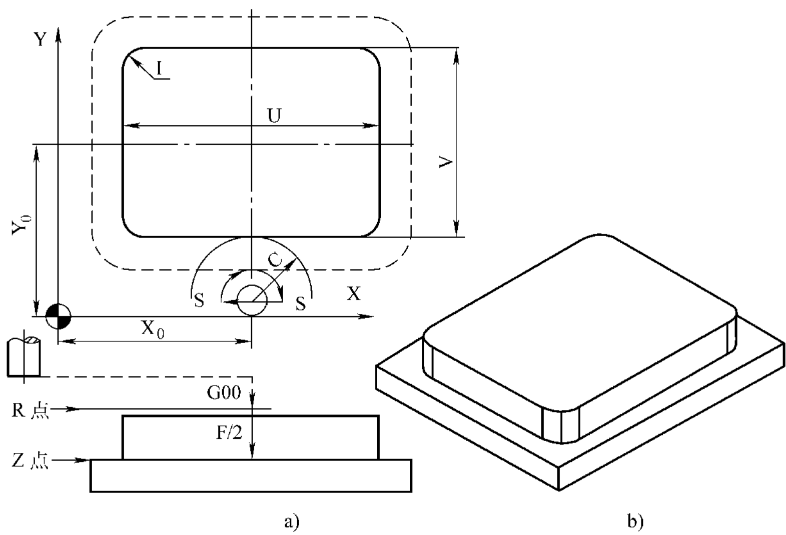


图 3-53　长方形零件外轮廓侧面铣削刀具路线示意图
a）铣削示意图　b）效果图

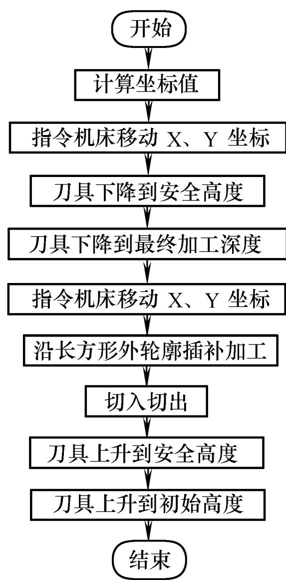


图 3-54　长方形外轮廓铣削用户宏程序结构流程框图

#25 = Z；Z—垂直方向最终加工深度尺寸值
#18 = S；S—快速接近速度
#17 = R；R—刀具在零件上方的安全高度

#8 = I；I—长方形零件圆角半径
#5 = F；F—切削进给速度
#3 = D；D—刀具半径
#2 = C；C—切入圆半径（C≥D）
%3332；宏程序号
N010　G90　G00　X[#23]　Y[#24 - [[#21/2] + #2]]；刀具快速移到起刀点
N015　Z[#17]；刀具快速下降到工件上方安全距离
N020　G01　Z[#25]　F[#5/2]；刀具以工进速度下降到最终加工深度
N025　G01　X[#23 - [#2 - #3]] Y[#24 - [#21/2 + #2]]　F[#18]；刀具快速移到切入圆起点
N030　G02　X[#23]　Y[#24 - [[#21/2] + #3]]　R[#2 - #3]　F[#5]；刀具以 1/4 圆弧顺圆切线切入
N035　G01　X[#23 + [#20/2 + #3]]　Y[#24 - [#21/2 + #3]]　R[#8 + #3]；沿轮廓 + X 走刀
N040　X[#23 + [#20/2 + #3]]　Y[#24 + [#21/2 + #3]]　R[#8 + #3]；沿轮廓 + Y 走刀
N045　X[#23 - [#20/2 + #3]]　Y[#24 + [#21/2 + #3]]　R[#8 + #3]；沿轮廓 - X 走刀
N050　X[#23 - [#20/2 + #3]]　Y[#24 - [#21/2 + #3]]　R[#8 + #3]；沿轮廓 - Y 走刀
N055　X[#23]　Y[#24 - [#21/2 + #3]]；沿轮廓 + X 走刀，回到切入点
N060　G02　X[#23 + [#2 - #3]]　Y[#24 - [#21/2 + #2]]　R[#2 - #3]；1/4 圆弧顺圆切线切出
N065　G01　X[#23]　Y[#24 - [#21/2 + #2]]　F[#18]；回到起刀点
N070　G00　G90　Z[#17]；刀具快速抬起离开工件
N075　M99；宏程序结束并返回主程序

2. SINUMERIK 802D 数控系统对长方形外轮廓侧面铣削的用户 R 参数程序

R 参数含义：
R21 = U；U—长方形外轮廓加工长度最终尺寸
R22 = V；V—长方形外轮廓加工宽度最终尺寸
R24 = X_0；X_0—长方形零件中心点的横坐标绝对值
R25 = Y_0；Y_0—长方形零件中心点的纵坐标绝对值
R26 = Z；Z—垂直方向最终加工深度尺寸值
R19 = S；S—快速接近速度
R18 = R；R—刀具在零件上方的安全高度
R9 = F；F—切削进给速度
R7 = D；D—刀具半径
R4 = I；I—长方形零件圆角半径
R3 = C；C—切入圆半径（C≥D）
L3332. SPF；R 参数子程序名
N010　G90　G00　X = R24　Y = R25 - [R22/2 + R3]；刀具快速移到起刀点

N015　Z = R18;刀具快速下降到工件上方安全距离
N020　G01　Z = R26　F = R9/2;刀具以工进速度下降到最终加工深度
N025　G01　X = R24 - [R3 - R7]　Y = R25 - [R22/2 + R7]　F = R19;刀具快速移到切入圆起点
N030　G02　X = R24　Y = R25 - [R22/2 + R7]　CR = R3 - R7　F = R9;刀具以 1/4 圆弧顺圆切线切入
N035　G01　X = R24 + [R21/2 + R7]　Y = R25 - [R22/2 + R7]　RND = R4 + R7;沿轮廓 + X 走刀
N040　X = R24 + [R21/2 + R7]　Y = R25 + [R22/2 + R7]　RND = R4 + R7;沿轮廓 + Y 走刀
N045　X = R24 - [R21/2 + R7]　Y = R25 + [R22/2 + R7]　RND = R4 + R7;沿轮廓 - X 走刀
N050　X = R24 - [R21/2 + R7]　Y = R25 - [R22/2 + R7]　RND = R4 + R7;沿轮廓 - Y 走刀
N055　X = R24　Y = R25 - [R22/2 + R7]　;沿轮廓 + X 走刀,回到切入点
N060　G02　X = R24 + [R3-R7]　Y = R25 - [R22/2 + R3]　CR = R3 - R7;1/4 圆弧顺圆切线切出
N065　G01　X = R24　Y = R25 - [R22/2 + R3]　F = R19;回到起刀点
N070　G00　G90　Z = R18 + 50;刀具快速抬起离开工件
N075　RET;R 参数子程序结束并返回主程序

3. FANUC 0i 数控系统对长方形外轮廓侧面铣削的用户宏程序

自变量含义:

#24 = X_0; X_0—长方形零件中心点的横坐标绝对值
#25 = Y_0; Y_0—长方形零件中心点的纵坐标绝对值
#26 = Z_0; Z_0—垂直方向最终加工深度尺寸值
#18 = R; R—刀具在零件上方的安全高度
#4 = I; I—长方形零件圆角半径
#7 = D; D—刀具半径
#9 = F; F—切削进给速度
#21 = U; U—长方形外轮廓加工长度最终尺寸
#22 = V; V—长方形外轮廓加工宽度最终尺寸
#3 = C; C—切入圆半径（C≥D）
#19 = S; S—快速接近速度

O3332; 宏程序名
N010　G90　G00　X#24　Y[#25 - [#22/2 + #3]];刀具快速移到起刀点[Y - (V/2 + C)]
N015　Z#18;刀具快速下降到工件上方安全距离
N020　G01　Z#26　F[#9/2];刀具以工进速度下降到最终加工深度
N025　G01　X[#24 - [#3 - #7]]　Y[#25 - [#22/2 + #7]]　F#19;刀具快速移到切入圆

起点

N030　G02　X#24　Y[#25－[#22/2＋#7]]　R[#3－#7]　F#9;刀具以 1/4 圆弧顺圆切线切入

N035　G01　X[#24＋[#21/2＋#7]]　Y[#25－[#22/2＋#7]]　R[#4＋#7];沿轮廓＋X 走刀

N040　X[#24＋[#21/2＋#7]]　Y[#25＋[#22/2＋#7]]　R[#4＋#7];沿轮廓＋Y 走刀

N045　X[#24－[#21/2＋#7]]　Y[#25＋[#22/2＋#7]]　R[#4＋#7];沿轮廓－X 走刀

N050　X[#24－[#21/2＋#7]]　Y[#25－[#22/2＋#7]]　R[#4＋#7];沿轮廓－Y 走刀

N055　X#24　Y[#25－#22/2＋#7]]　;沿轮廓＋X 走刀,回到切入点

N060　G02　X[#24＋[#3－#7]]　Y[#25－[#22/2＋#3]]　R[#3－#7];1/4 圆弧顺圆切线切出

N065　G01　X#24　Y[#25－[#22/2＋#3]]　F#19;回到起刀点

N070　G00　G90　Z#18;刀具快速抬起离开工件

N075　M99;宏程序结束并返回主程序

注意:

1）切入圆弧半径 C 必须大于刀具半径。

2）刀具半径值必须大于 0。

3）程序中没有使用刀具半径补偿指令（G41、G42、G40）。

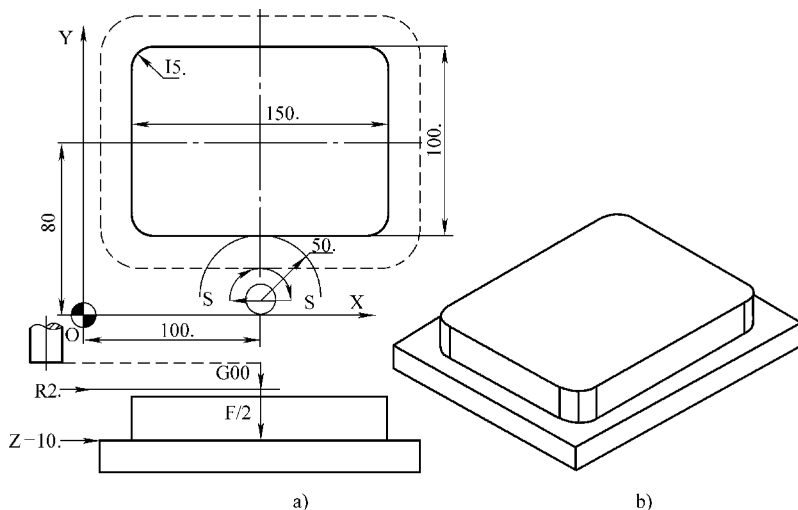


图 3-55　长方形外轮廓侧面铣削编程实例的刀具路线示意图

a）尺寸图　b）效果图

4. 编程实例

在铣床或加工中心上加工图 3-55 所示长方形零件的外轮廓侧面，长方形外轮廓加工长度最终尺寸为 150.0mm，宽度最终尺寸为 100.0mm，零件圆角半径为 5.0mm，深度为 10.0mm。试用变量（或参数）编写出加工此零件的数控程序。

解：

（1）工艺设计　建立工件坐标系，长方形零件的中心在工件坐标系中的 X、Y 绝对坐标为（100.0，80.0），工件表面为工件坐标系 Z 轴的零点，机床坐标系偏置值设置在 G54 寄存器中。

采用顺铣方式铣削长方形零件外轮廓侧面，运用 1/4 圆弧切入与切出，切入圆半径为 50.0mm，铣削刀具选择 ϕ25.0mm 的立铣刀，取主轴转速为 500r/min，铣削进给速度为 150mmr/min，主轴起始位置在零件上方 50.0mm 处，刀具起始切削高度为 2.0mm，最终加工位置为 Z－10.0mm。根据不同数控系统，运用变量引数赋值和参数直接赋值编制加工程序。

（2）零件加工程序

1）HNC—21/22M 华中世纪星数控系统。

局部变量含义：

#20＝150.0；长方形外轮廓加工长度最终尺寸

#21＝100.0；长方形外轮廓加工宽度最终尺寸

#23＝100.0；长方形零件中心点的横坐标绝对值

#24＝80.0；长方形零件中心点的纵坐标绝对值

#25＝－10.0；垂直方向最终加工深度尺寸值

#18＝1000.；快速接近速度

#17＝2.0；长方形零件圆角半径

#5＝150.0；切削进给速度

#3＝10.0；刀具半径

#2＝50.0；切入圆半径（C≥刀具半径）

主程序如下：

O××××；文件名

%××××；程序号

N10　T01　M06；调用 1 号刀具

N15　G17　G90　G21　G94　G54　G40　G49　G80；工艺加工状态设置

N20　G43　G00　Z50.0　H01　S500　M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为 500r/min

N25　X0　Y0　M07；刀具快速移动到工件坐标零点，打开切削液

N30　M98　P3332　X100.0　Y80.0　Z－10.0　U150.0　V100.0　S1000.0　R2.0　I5.0　C50.0　D25.0　F150；调用长方形外轮廓侧面铣削的宏子程序

N35　G00　Z100.0　M09；刀具退到工件上表面 100mm 处，切削液关闭

N40　G49；取消刀具长度补偿

N45　G00　X0　Y0　M05；刀具退回工件坐标零点，主轴停止

N50　M30；程序结束并返回程序开头

%3332；长方形外轮廓侧面铣削用户宏程序（见前面）

⋮

M99；子程序结束，返回主程序

2）SINUMERIK 802D 数控系统。

主程序如下：

```
FZG×××××；宏程序名
N05  R21=150.0；长方形外轮廓加工长度最终尺寸
     R22=100.0；长方形外轮廓加工宽度最终尺寸
     R24=100.0；长方形零件中心点的横坐标绝对值
     R25=100.0；长方形零件中心点的纵坐标绝对值
     R26=-10.0；垂直方向最终加工深度尺寸值
     R19=1000.；快速接近速度
     R18=2.0；刀具在零件上方的安全高度
     R4=5.0；长方形零件圆角半径
     R9=150.0；切削进给速度
     R7=10.0；刀具半径
     R3=50.0；切入圆半径（C≥刀具半径）
N10  T01  M06；调用1号刀具
N15  G17  G90  G71  G94  G54  G40；工艺加工状态设置
N20  G43  G00  Z50.0  D01  S500  M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为
                                     500r/min
N25  X0  Y0  M07；刀具快速移动到工件坐标零点，打开切削液
N30  L3332；调用长方形外轮廓侧面铣削的用户R参数子程序
N35  G00  Z100.0  M09；刀具退到工件上表面100mm处，切削液关闭
N40  D00；取消刀具长度补偿
N45  G00  X0  Y0  M05；刀具退回工件坐标零点，主轴停止
N50  M02；程序结束并返回程序开头
L3332.SPF；长方形外轮廓侧面铣削用户R参数子程序（见前面）
⋮
RET；R参数子程序结束，返回主程序
```

3）FANUC 0i 数控系统。

自变量含义：

```
#21=150.0；长方形外轮廓加工长度最终尺寸
#22=100.0；长方形外轮廓加工宽度最终尺寸
#24=100.0；长方形零件中心点的横坐标绝对值
#25=80.0；长方形零件中心点的纵坐标绝对值
#26=-10.0；垂直方向最终加工深度尺寸值
#19=1000.；快速接近速度
#18=2.0；刀具在零件上方的安全高度
#4=5.0；长方形零件圆角半径
#9=150.0；切削进给速度
#7=25.0；刀具半径
```

#3 = 50.0；切入圆半径（C≥刀具半径）

主程序如下；

O××××；程序名

N10　T01　M06；调用1号刀具

N15　G17　G90　G21　G94　G54　G40　G49　G80；工艺加工状态设置

N20　G43　G00　Z50.0　H01　S500　M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为500r/min

N25　X0　Y0　M07；刀具快速移动到工件坐标零点，打开切削液

N30　G65　P3332　X100.0　Y100.0　Z－10.0　U150.0　V100.0　R2.0　I5.0　C50.0　D25.0　F150；调用长方形外轮廓侧面铣削的宏子程序

N35　G00　Z100.0　M09；刀具退到工件上表面100mm处，切削液关闭

N40　G49；取消刀具长度补偿

N45　G00　X0　Y0　M05；刀具退回工件坐标零点，主轴停止

N50　M30；程序结束并返回程序开头

O3332；长方形外轮廓侧面铣削用户宏程序（见前面）

⋮

M99；子程序结束，返回主程序

3.3.3.3　跑道形外轮廓侧面铣削宏程序编程

编制一个通用程序，铣削加工图3-56所示跑道形外轮廓侧面。假设 X_0 为跑道形外轮廓左侧圆弧中心的绝对横坐标，Y_0 为跑道形外轮廓左侧圆弧中心的绝对纵坐标，Z为最终加工深度，R为刀具快速接近工件点坐标，I为跑道形外轮廓左侧圆弧半径，J为右侧圆弧半径，U为跑道形外轮廓左右圆弧中心距，D为加工零件的刀具半径，C为刀具接近及离开间隙（C≥刀具半径），F为切削进给速度，采用顺铣切削方式加工。

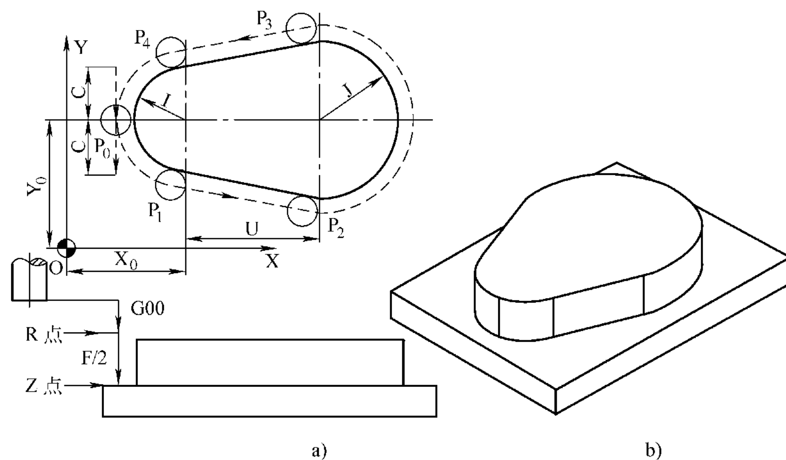


图3-56　跑道形零件外轮廓侧面铣削走刀路线示意图

a）侧面铣削图　b）效果图

由图 3-56 分析，可画出该宏程序的结构流程框图，如图 3-57 所示。

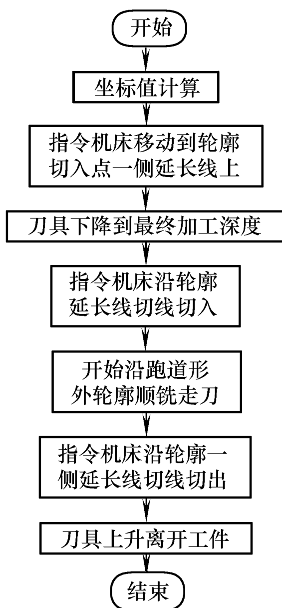


图 3-57 铣削跑道形外轮廓零件侧面的用户宏程序结构流程框图

1. HNC—21/22M 华中世纪星数控系统对跑道形零件外轮廓侧面铣削的用户宏程序

局部变量含义：

#23 = X_0； X_0—跑道形外轮廓左侧圆弧中心的横坐标绝对值

#24 = Y_0； Y_0—跑道形外轮廓左侧圆弧中心的纵坐标绝对值

#25 = Z；Z—垂直方向最终加工深度尺寸值

#20 = U；U—跑道形凸台左右圆弧中心距

#17 = R；R—刀具快速接近工件点坐标

#8 = I；I—左侧圆弧半径

#9 = J；J—右侧圆弧半径

#3 = D；D—刀具半径

#5 = F；F—切削进给速度

#2 = C；C—刀具接近及离开间隙（C = 2D = 刀具直径）

%3333；宏程序号

N005 #2 = 2 * #3；间隙等于刀具直径

#12 = SQRT[#20 * #20 – [#9 – #8] * [#9 – #8]]；计算两圆弧切线长度

#14 = ATAN[[#9 – #8]/#12]；切线与 X 轴夹角

#27 = [#8 + #3] * SIN[#14 * PI/180]；左侧圆心通过圆弧切点到刀具中心的横坐标

#28 = [#8 + #3] * COS[#14 * PI/180]；左侧圆心通过圆弧切点到刀具中心的纵坐标

```
        #29 = [#9 + #3] * SIN[#14 * PI/180];右侧圆心通过圆弧切点到刀具中心的横坐标
        #30 = [#9 + #3] * COS[#14 * PI/180];右侧圆心通过圆弧切点到刀具中心的纵坐标
N010  G90  G00  X[#23 - [#8 + #3]]  Y[#24 + #2];刀具快速移到跑道形外轮廓左上侧
N015  Z[#17];刀具快速下降到工件上方安全距离
N020  G01  Z[#25]  F[#5/2];刀具以工进速度下降到最终加工深度
N025  X[#23 - [#8 + #3]]  Y[#24]  F[3 * #5];沿跑道形外轮廓左侧延长线切入到 P0 点
N030  G03  X[#23 - #27]  Y[#24 - #28]  I[#8 + #3]  J0;沿轮廓圆弧插补到 P1 点
N035  G01  X[#23 + #20 - #29]  Y[#24 - #30];沿轮廓直线插补到 P2 点
N040  G03  X[#23 + #20 - #29]  Y[#24 + #30]  I[#29]  J[#30]
                                                  ;沿轮廓圆弧插补到 P3 点
N045  G01  X[#23 - #27]  Y[#24 + #28];沿轮廓直线插补到 P4 点
N050  G03  X[#23 - [#8 + #3]]  Y[#24]  I[#27]  J[ - #28]
                                                  ;沿轮廓圆弧插补到 P0 点
N055  G01  X[#23 - [#8 + #3]]  Y[#24 - #2]];沿跑道形外轮廓左侧延长线切出
N060  G90  G00  Z[#17 + 50];刀具快速抬起离开工件
N065  M99;宏程序结束并返回主程序
```

2. SINUMERIK 802D 数控系统对跑道形外轮廓零件侧面铣削的用户 R 参数程序

R 参数含义：

R24 = X_0； X_0—跑道形外轮廓左侧圆弧中心的横坐标绝对值

R25 = Y_0； Y_0—跑道形外轮廓左侧圆弧中心的纵坐标绝对值

R26 = Z； Z—垂直方向最终加工深度尺寸值

R21 = U； U—跑道形凸台左右圆弧中心距

R18 = R； R—刀具快速接近工件点坐标

R4 = I； I—左侧圆弧半径

R5 = J； J—右侧圆弧半径

R7 = D； D—刀具半径

R9 = F； F—切削进给速度

R3 = C； C—刀具接近及离开间隙（C = 2D = 刀具直径）

L3333. SPF； R 参数子程序名

```
N005  R3 = 2 * R7;间隙等于刀具直径
      R12 = SQRT[R21 * R21 - [R5 - R4] * [R5 - R4]];计算两圆弧切线长度
      R14 = ATANZ[[R5 - R4]/R12];切线与 X 轴夹角
      R27 = [R4 + R7] * SIN[R14];左侧圆心通过圆弧切点到刀具中心的横坐标
      R28 = [R4 + R7] * COS[R14];左侧圆心通过圆弧切点到刀具中心的纵坐标
      R29 = [R5 + R7] * SIN[R14];右侧圆心通过圆弧切点到刀具中心的横坐标
```

R30 = [R5 + R7] * COS[R14];右侧圆心通过圆弧切点到刀具中心的纵坐标
N010 G90 G00 X = R24 - [R4 + R7] Y = R25 + R3;刀具快速移到跑道形外轮廓左上侧
N015 Z = R18;刀具快速下降到工件上方安全距离
N020 G01 Z = R26 F = R9/2;刀具以工进速度下降到最终加工深度
N025 X = R24 - [R4 + R7] Y = R25 F = R19;沿跑道形外轮廓左侧延长线切入到 P_0 点
N030 G03 X = R24 - R27 Y = R25 - R28 I = R4 + R7 J0;沿轮廓圆弧插补到 P_1 点
N035 G01 X = R24 + R21 - R29 Y = R25 - R30;沿轮廓直线插补到 P_2 点
N040 G03 X = R24 + R21 - R29 Y = R25 + R30 I = R29 J = R30;沿轮廓圆弧插补到 P_3 点
N045 G01 X = R24 - R27 Y = R25 + R28;沿轮廓直线插补到 P_4 点
N050 G03 X = R24 - [R4 + R7] Y = R25 I = R27 J = - R28;沿轮廓圆弧插补到 P_0 点
N055 G01 X = R24 - [R4 + R7] Y = R25 - R3;沿跑道形外轮廓左侧延长线切出
N060 G90 G00 Z = R18 + 50;刀具快速抬起离开工件
N065 RET;R 参数子程序结束并返回主程序

3. FANUC 0i 数控系统对跑道形外轮廓零件侧面铣削的用户宏程序

自变量含义:
#24 = X_0; X_0—跑道形外轮廓左侧圆弧中心的横坐标绝对值
#25 = Y_0; Y_0—跑道形外轮廓左侧圆弧中心的纵坐标绝对值
#26 = Z; Z—垂直方向最终加工深度尺寸值
#21 = U; U—跑道形凸台左右圆弧中心距
#18 = R; R—刀具快速接近工件点坐标
#4 = I; I—左侧圆弧半径
#5 = J; J—右侧圆弧半径
#7 = D; D—刀具半径
#9 = F; F—切削进给速度
#3 = C; C—刀具接近及离开间隙 (C = 2D = 刀具直径)
O3333; 宏程序名
N005 #3 = 2 * #7;间隙等于刀具直径
#12 = SQRT[#21 * #21 - [#5 - #4] * [#5 - #4]];计算两圆弧切线长度
#14 = ATAN[[#5 - #4]/#12];切线与 X 轴夹角
#27 = [#4 + #7] * SIN[#14];左侧圆心通过圆弧切点到刀具中心的横坐标
#28 = [#4 + #7] * COS[#14];左侧圆心通过圆弧切点到刀具中心的纵坐标
#29 = [#5 + #7] * SIN[#14];右侧圆心通过圆弧切点到刀具中心的横坐标
#30 = [#5 + #7] * COS[#14];右侧圆心通过圆弧切点到刀具中心的纵坐标
N010 G90 G00 X[#24 - [#4 + #7]] Y[#25 + #3];刀具快速移到跑道形外轮廓左上侧
N015 Z#18;刀具快速下降到工件上方安全距离

```
N020  G01  Z#26  F[#9/2];刀具以工进速度下降到最终加工深度
N025  X[#24-[#4+#7]]  Y#25  F#19;沿跑道形外轮廓左侧延长线切入到P0点
N030  G03  X[#24-#27]  Y[#25-#28]  I[#4+#7]  J0;沿轮廓圆弧插补到P1点
N035  G01  X[#24+#21-#29]  Y[#25-#30];沿轮廓直线插补到P2点
N040  G03  X[#24+#21-#29]  Y[#25+#30]  I#29  J#30;沿轮廓圆弧插补到P3点
N045  G01  X[#24-#27]  Y[#25+#28];沿轮廓直线插补到P4点
N050  G03  X[#24-[#4+#7]]  Y#25  I#27  J-#28;沿轮廓圆弧插补到P0点
N055  G01  X[#24-[#4+#7]]  Y[#25-#3];沿跑道形外轮廓左侧延长线切出
N060  G90  G00  Z[#18+50];刀具快速抬起离开工件
N065  M99;宏程序结束并返回主程序
```

注意：

1）间隙量 C 不能小于刀具直径。

2）刀具半径值必须大于 0。

3）程序中没有使用刀具半径补偿指令（G41、G42、G40）。

4. 编程实例

在铣床或加工中心上加工图 3-58 所示跑道形外轮廓零件侧面，跑道形外轮廓左侧圆弧半径为 20.0mm，右侧圆弧半径为 30.0mm，左右两圆弧的中心距为 50.0mm，深度为 10.0mm，以绝对坐标（40.0，0）为旋转中心，逆时针旋转 45°。试用变量（或参数）编写出加工此零件的数控程序。

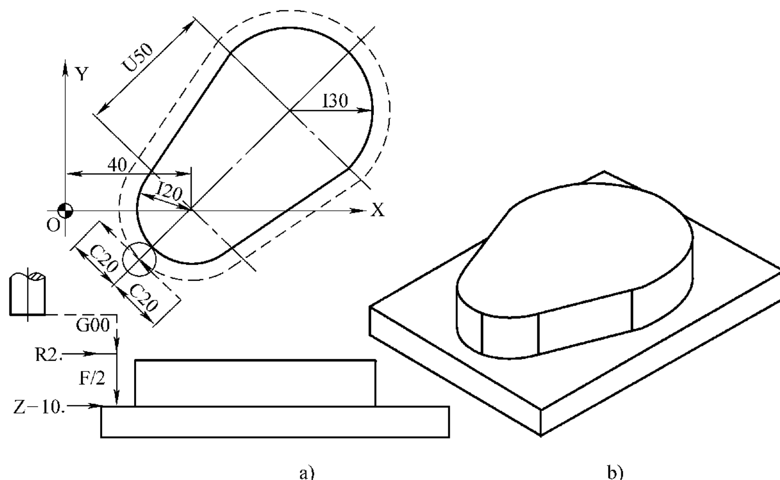


图 3-58　跑道形零件外轮廓侧面铣削编程实例的刀具路线示意图

a）尺寸图　b）效果图

解：

（1）工艺设计 建立工件坐标系，跑道形零件外轮廓左侧圆弧中心在工件坐标系中的X、Y绝对坐标为（40.0，0），工件表面为工件坐标系Z轴的零点，机床坐标系偏置值设置在G54寄存器中。

采用顺铣方式铣削跑道形外轮廓侧面，运用轮廓延长线切入与切出。铣削刀具选择ϕ20mm的立铣刀，取主轴转速为500r/min、铣削进给速度为150mm/min，主轴起始位置在零件上方50.0mm处，刀具起始切削高度为2.0mm，最终加工位置为Z－10.0mm。根据不同数控系统，运用变量引数赋值和参数直接赋值编制宏程序。

（2）零件加工程序

1）HNC—21/22M华中世纪星数控系统。

局部变量含义：

#23＝40.0；跑道形外轮廓左侧圆弧中心的横坐标绝对值

#24＝0；跑道形外轮廓左侧圆弧中心的纵坐标绝对值

#25＝－10.0；垂直方向最终加工深度尺寸值

#20＝50.0；跑道形凸台左右圆弧中心距

#17＝2.0；刀具快速接近工件点坐标

#8＝20.0；左侧圆弧半径

#9＝30.0；右侧圆弧半径

#3＝10.0；刀具半径

#5＝150.0；切削进给速度

#2＝20.0；刀具接近及离开间隙（C＝2D＝刀具直径）

主程序如下：

O××××；文件名

%××××；程序号

N10 T01 M06；调用1号刀具

N15 G17 G90 G21 G94 G54 G40 G49 G80；工艺加工状态设置

N20 G43 G00 Z50.0 H01 S500 M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为500r/min

N25 X0 Y0 M07；刀具快速移动到工件坐标零点，打开切削液

N30 G68 X40.0 Y0 P45；以绝对坐标（40.0，0）为旋转中心，逆时针旋转45°

N35 M98 P3333 X40.0 Y0 Z－10.0 R2.0 I20.0 J30.0 D10.0 F150 U50.0 C20.0；调用加工跑道形外轮廓侧面的宏子程序

N40 G00 Z100.0 M09；刀具退到工件上表面100mm处，切削液关闭

N45 G69 G49；取消旋转和刀具长度补偿

N50 G00 X0 Y0 M05；刀具退回工件坐标零点，主轴停止

N55 M30；程序结束并返回程序开头

%3333；跑道形外轮廓侧面铣削用户宏程序（见前面）

⋮

M99；子程序结束，返回主程序

2）SINUMERIK 802D 数控系统。

主程序如下：

```
FZG×××××；
N05  R24=0；跑道形外轮廓左侧圆弧中心的横坐标绝对值
     R25=0；跑道形外轮廓左侧圆弧中心的纵坐标绝对值
     R26=-10.0；垂直方向最终加工深度尺寸值
     R21=50.0；跑道形凸台左右圆弧中心距
     R18=2.0；刀具快速接近工件点坐标
     R4=20.0；左侧圆弧半径
     R5=30.0；右侧圆弧半径
     R7=10.0；刀具半径
     R9=150.0；切削进给速度
     R3=20.0；刀具接近及离开间隙（C=2D=刀具直径）
N10  T1  D1；调用1号刀补
N15  G17  G90  G71  G94  G54  G40；工艺加工状态设置
N20  G00  Z50.0  S500  M03；主轴正转，转速为500r/min
N25  X0  Y0  M07；刀具快速移动到工件坐标零点，打开切削液
N30  TRANS  X40.0  Y0；可编程零点偏移
N35  AROT  RPL=45；附加旋转45°
N40  L3333；调用跑道形外轮廓侧面的用户R参数程序
N45  TRANS；取消偏移和旋转
N50  G00  Z100.0  M09；刀具退到工件上表面100mm处，切削液关闭
N52  D00；取消长度补偿
N55  G00  X0  Y0  M05；刀具退回工件坐标零点，主轴停止
N60  M02；R参数子程序结束并返回程序开头
L3333.SPF；跑道形外轮廓侧面铣削用户R参数子程序（见前面）
⋮
REF；R参数子程序结束，返回主程序
```

3）FANUC 0i 数控系统。

自变量含义：

```
#24=0；跑道形外轮廓左侧圆弧中心的横坐标绝对值
#25=0；跑道形外轮廓左侧圆弧中心的纵坐标绝对值
#26=-10.0；垂直方向最终加工深度尺寸值
#21=50.0；跑道形凸台左右圆弧中心距
#18=2.0；刀具快速接近工件点坐标
#4=20.0；左侧圆弧半径
#5=30.0；右侧圆弧半径
#7=10.0；刀具半径
#9=150.0；切削进给速度
```

#3 =20.0；刀具接近及离开间隙（C =2D = 刀具直径）

主程序如下：

O××××；主程序名

N10 T01 M06；调用 1 号刀具

N15 G17 G90 G21 G94 G54 G40 G49 G80；工艺加工状态设置

N20 G43 G00 Z50.0 H01 S500 M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为 500r/min

N25 X0 Y0 M07；刀具快速移动到工件坐标零点，打开切削液

N28 G52 X40.0 0；局部坐标系设定

N30 G68 X0 Y0 P45.0；以绝对坐标（0，0）为旋转中心，逆时针旋转 45°。

N35 G65 P3333 X0 Y0 Z－10.0 R2.0 I20.0 J30.0 D10.0 F150 U50.0 C20.0；调用加工跑道形外轮廓侧面的宏子程序

N40 G00 Z100.0 M09；刀具退到工件上表面 100mm 处，切削液关闭

N45 G69 G49；取消旋转和刀具长度补偿

N48 G52 X0 Y0；取消局部坐标系设定

N50 G00 X0 Y0 M05；刀具退回工件坐标零点，主轴停止

N55 M30；程序结束并返回程序开头

O3333；跑道形外轮廓侧面铣削用户宏程序（见前面）

⋮

M99；子程序结束，返回主程序

3.3.4 凹槽类零件侧面铣削宏程序编程实例

3.3.4.1 圆形凹槽类零件侧面铣削宏程序编程

编制一个铣削加工图 3-59 所示圆形凹槽零件侧面的通用程序。假设圆形凹槽零件圆弧

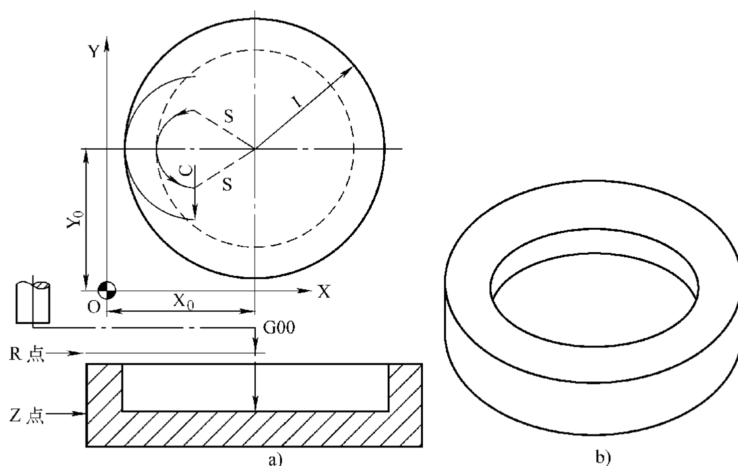


图 3-59 铣削圆形凹槽零件的侧面走刀路线示意图

a）零件图 b）效果图

中心的横坐标绝对值为 X_0，纵坐标绝对值为 Y_0，凹槽最终加工深度为 Z，刀具快速接近工件点坐标为 R，圆形凹槽圆弧半径为 I，刀具半径为 D，切入（切出）圆半径为 C，切削进给进度为 F。

由图 3-59 分析，可画出该宏程序的结构流程框图，如图 3-60 所示。

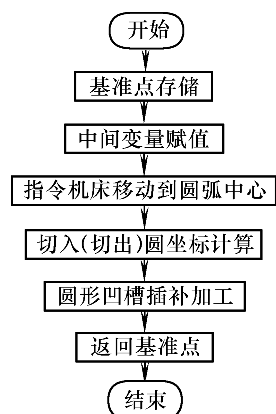


图 3-60　圆形凹槽零件侧面铣削的用户宏程序结构流程框图

1. HNC—21/22M 华中世纪星数控系统对铣削圆形凹槽零件侧面的用户宏程序

局部变量含义：

#23 = X_0；X_0—工件圆弧中心的 X 坐标绝对值
#24 = Y_0；Y_0—工件圆弧中心的 Y 坐标绝对值
#25 = Z ；Z—最终加工深度
#17 = R ；R—刀具起始切削安全高度
#8 = I ；I—圆形凹槽圆弧半径
#3 = D ；D—刀具半径
#5 = F ；F—切削进给速度
#2 = C ；C—切入(切出)圆半径

```
%3341；宏程序号
N010  G90  G00  X[#23]  Y[#24]；指令刀具移到工件圆弧中心
N015  Z[#17]；刀具快速下降到工件上方安全距离
N020  G01  Z[#25]  F[#5/2]；刀具以工进速度下降
N025  G01  X[#23-[#8-#2]]  Y[#24+[#2-#3]]  F[3*#5]；刀具直线插补到切入圆起点
N030  G03  X[#23-[#8-#3]]  Y[#24]  R[#2-#3]  F[#5]；圆弧切线切入
N035  G03  I[#8-#3]  J0；逆时针整圆插补
N040  G03  X[#23-[#8-#2]]  Y[#24-[#2-#3]]  R[#2-#3]；圆弧切线切出
N045  G01  X[#23]  Y[#24]  F[3*#5]；返回圆形零件中心
N050  G00  G90  Z[#18+50]；刀具快速抬起离开工件
N055  M99；宏程序结束并返回主程序
```

2. SINUMERIK 802D 数控系统对铣削圆形凹槽零件侧面的用户 R 参数程序

R 参数含义：

R24 = X_0；X_0—工件圆弧中心的 X 坐标绝对值
R25 = Y_0；Y_0—工件圆弧中心的 Y 坐标绝对值
R26 = Z；Z—最终加工深度
R18 = R；R—刀具起始切削安全高度
R4 = I；I—圆形凹槽圆弧半径
R7 = D；D—刀具半径
R9 = F；F—切削进给速度
R3 = C；C—切入(切出)圆半径

L3341. SPF；R 参数子程序

N005 R24 = _ R25 = _ R26 = _ R18 = _ R19 = _ R4 = _ R7 = _ R9 = _ R3 = _；R 参数设置
N010 G90 G00 X = R24 Y = R25；指令刀具移到工件圆弧中心
N015 Z = R18；刀具快速下降到工件上方安全距离
N020 G01 Z = R26 F = R9/2；刀具以工进速度下降
N025 G01 X = R24 - [R4 - R3] Y = R25 + [R3 - R7] F = 3 * R9；刀具直线插补到切入圆起点
N030 G03 X = R24 - [R4 - R7] Y = R25 CR = R3 - R7 F = R9；圆弧切线切入
N035 G03 I = R4 - R7 J0；逆时针整圆插补
N040 G03 X = R24 - [R4 - R3] Y = R25 - [R3 - R7] CR = R3 - R7；圆弧切线切出
N045 G01 X = R24 Y = R25 F = 3 * R9；返回圆形零件中心
N050 G00 G90 Z = R18 + 50；刀具快速抬起离开工件
N055 RET；R 参数子程序结束并返回主程序

3. FANUC 0i 数控系统对铣削圆形凹槽零件侧面的用户宏程序

自变量含义：

#24 = X_0；X_0—工件圆弧中心的 X 坐标绝对值
#25 = Y_0；Y_0—工件圆弧中心的 Y 坐标绝对值
#26 = Z；Z—最终加工深度
#18 = R；R—刀具起始切削安全高度
#4 = I；I—圆形凹槽圆弧半径
#7 = D；D—刀具半径
#9 = F；F—切削进给速度
#3 = C；C—切入(切出)圆半径

O3341；宏程序名
N010 G90 G00 X#24 Y#25；指令刀具移到工件圆弧中心
N015 Z#18；刀具快速下降到工件上方安全距离
N020 G01 Z#26 F[#9/2]；刀具以工进速度下降
N025 G01 X[#24 - [#4 - #3]] Y[#25 + [#3 - #7]] F[3 * #9]；刀具直线插补到切入圆起点
N030 G03 X[#24 - [#4 - #7]] Y#25 R[#3 - #7] F#9；圆弧切线切入
N035 G03 I[#4 - #7] J0；逆时针整圆插补
N040 G03 X[#24 - [#4 - #3]] Y[#25 - [#3 - #7]] R[#3 - #7]；圆弧切线切出
N045 G01 X#24 Y#25 F[3 * #9]；返回圆形零件中心
N050 G00 G90 Z[#18 + 50]；刀具快速抬起离开工件
N055 M99；宏程序结束并返回主程序

注意：

1）圆形凹槽圆弧半径 I 必须大于或等于切入圆弧半径 C。

2）切入圆弧半径 C 必须大于或等于刀具半径值。

3）刀具半径值必须大于 0。

4）程序中没有使用刀具半径补偿指令（G41、G42、G40）。

4. 编程举例

在铣床或加工中心上加工图3-61所示圆形凹槽零件的侧面，圆形凹槽圆弧半径为80mm，深10.0mm。

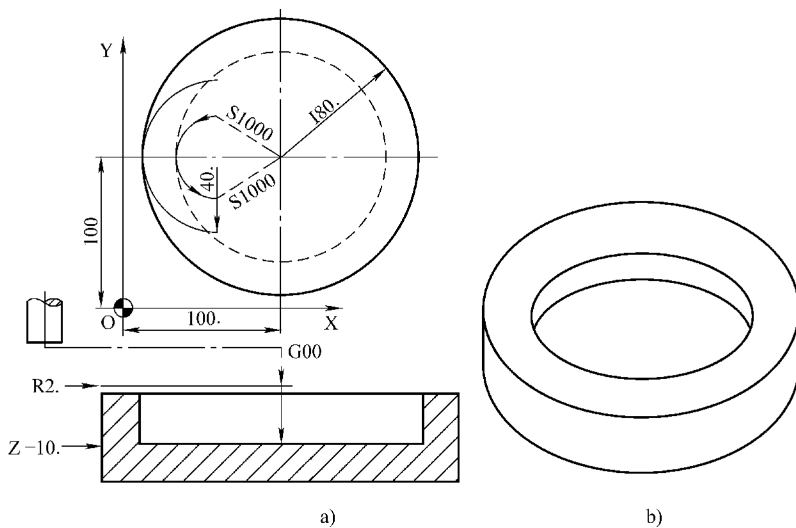


图3-61　圆形凹槽零件侧面铣削编程实例走刀路线示意图
a）尺寸图　b）效果图

解：

（1）工艺设计　建立工件坐标系，零件圆弧中心在工件坐标系中的X、Y绝对坐标为（100.0，100.0），工件表面为工件坐标系Z轴的零点，机床坐标系偏置值设置在G54寄存器中。

首先进行预钻孔，然后采用不对称顺铣方式铣削圆形凹槽侧面，运用1/4圆弧切入与切出。铣削刀具选择ϕ20mm的立铣刀，取主轴转速为500r/min、铣削进给速度为150mm/min，主轴起始位置在零件上方50.0mm处，刀具起始切削高度为2.0mm，最终加工位置为Z-10.0mm。根据不同数控系统，运用变量引数赋值和参数直接赋值编制宏程序。

（2）零件加工程序

1）HNC—21/22M华中世纪星数控系统。

局部变量含义：

#23=100.0；工件左下角的横坐标绝对值

#24=100.0；工件左下角的纵坐标绝对值

#25=-10.0；垂直方向最终加工深度尺寸值

#17=2.0；刀具在工件上方的安全高度

#8=80.0；圆形凹槽圆弧半径

```
#3 =15.0；刀具半径
#2 =40.0；刀具接近及离开零件间隙（C≥刀具半径）
#5 =150.0；切削进给速度
O××××；文件名
%××××；程序号
N10  T01  M06；调用1号刀具
N15  G17  G90  G21  G94  G54  G40  G49  G80；工艺加工状态设置
N20  G43  G00  Z50.0  H01  S300  M03；建立刀具长度补偿,主轴正转,转速为
                                       300r/min
N25  X0  Y0  M07；刀具快速移动到工件坐标零点,打开切削液
N26  G98  G81  X0  Y0  Z-10.0  R5.0  F100；调用固定循环程序钻削预钻孔
N27  T02  M06；调用2号工具
N28  G43  G00  Z25.0  H02  S500  M03；建立刀具长度补偿,主轴正转,转速为
                                       500r/min
N29  X0  Y0  M07；刀具快速移动到工件坐标零点,打开切削液
N30  M98  P3341  X100.0  Y100.0  Z-10.0  R2.0  I80.0  C40.0  D15.0  F150；
     调用铣削圆形凹槽零件侧面的宏子程序
N35  G00  Z100.0  M09；刀具退到工件上表面100mm处,切削液关闭
N40  G49；取消刀具长度补偿
N45  G00  X0  Y0  M05；刀具退回工件坐标零点,主轴停止
N50  M30；程序结束并返回程序开头
%3341；圆形凹槽侧面铣削用户宏程序(见前面)
⋮
M99；子程序结束,返回主程序
```

2）SINUMERIK 802D 数控系统。

主程序如下：

```
FZG×××××；程序名
N05  R24 =100.0；工件圆弧中心的X坐标绝对值
     R25 =100.0；工件圆弧中心的Y坐标绝对值
     R26 = -10.0；最终加工深度
     R18 =2.0；刀具起始切削安全高度
     R4 =80.0；圆形凹槽圆弧半径
     R7 =15.0；刀具半径
     R9 =150.0；切削进给速度
     R3 =40.0；切入（切出）圆半径
N10  T01  M06；调用1号刀具
N15  G17  G90  G71  G94  G54  G40；工艺加工状态设置
N20  G00  Z50.0  D01  S300  M03；建立刀具长度补偿,主轴正转,转速为300r/min
N25  X0  Y0  M07；刀具快速移动到工件坐标零点，打开切削液
```

N26　GYCLE82（50，0，5，－10，2）；调用固定循环程序钻削预钻孔
N27　T02　M06；调用 2 号刀具
N28　G00　Z50.0　D02　S500　M03；建立刀具长度补偿,主轴正转,转速为 500r/min
N29　X0　Y0　M07；刀具快速移动到工件坐标零点，打开切削液
N30　L3341；调用铣削圆形凹槽零件侧面的用户 R 参数程序
N35　G00　Z100.0　M09；刀具退到工件上表面 100mm 处，切削液关闭
N40　D00；取消刀具长度补偿
N45　G00　X0　Y0　M05；刀具退回工件坐标零点，主轴停止
N50　M02；程序结束并返回程序开头
L3341.SPF；圆形凹槽侧面铣削用户 R 参数子程序（见前面）
⋮
RET；R 参数子程序结束，返回主程序

3）FANUC 0i 数控系统。

自变量含义：

#24 = 100.0；工件左下角的横坐标绝对值
#25 = 100.0；工件左下角的纵坐标绝对值
#26 = －10.0；垂直方向最终加工深度尺寸值
#18 = 2.0；刀具在工件上方的安全高度
#4 = 80.0；圆形凹槽圆弧半径
#7 = 15.0；刀具半径
#3 = 40.0；刀具接近及离开零件间隙（C≥刀具半径）
#9 = 150.0；切削进给速度

主程序如下：

O××××
N10　T01　M06；调用 1 号刀具
N15　G17　G90　G21　G94　G54　G40　G49　G80；工艺加工状态设置
N20　G43　G00　Z50.0　H01　S300　M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为 300r/min
N25　X0　Y0　M07；刀具快速移动到工件坐标零点，打开切削液
N26　G98　G81　X0　Y0　Z－10.0　R5.0　F100；调用固定循环程序钻削预钻孔
N27　T02　M06；调用 2 号刀具
N28　G43　G00　Z25.0　H02　S500　M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为 500r/min
N29　X0　Y0　M07；刀具快速移到工件坐标零件，打开切削液
N30　G65　P3341　X100.0　Y100.0　Z－10.0　R2.0　I80.0　C40.0　D15.0　F150；调用铣削圆形凹槽零件侧面的宏子程序
N35　G00　Z100.0　M09；刀具退到工件上表面 100mm 处，切削液关闭
N40　G49；取消刀具长度补偿
N45　G00　X0　Y0　M05；刀具退回工件坐标零点，主轴停止

N50　M30；程序结束并返回程序开头

O3341；圆形凹槽侧面铣削用户宏程序（见前面）

⋮

M99；子程序结束，返回主程序

说明：通过改变刀具半径来对圆形凹槽进行粗、精加工。

3.3.4.2　方形凹槽类零件侧面铣削宏程序编程

编制一个铣削加工图3-62所示方形凹槽类零件侧面的通用程序。假设方形凹槽加工长度最终尺寸为U，方形凹槽加工宽度最终尺寸为V，X_0为方形零件中心的横坐标绝对值，Y_0为方形零件中心的纵坐标绝对值，最终加工深度为Z，方形零件圆角半径为I，刀具快速接近工件后的刀具起始切削安全高度为R，切入圆半径为C，刀具半径为D。

由图3-62分析，可画出该宏程序的结构流程框图，如图3-63所示。

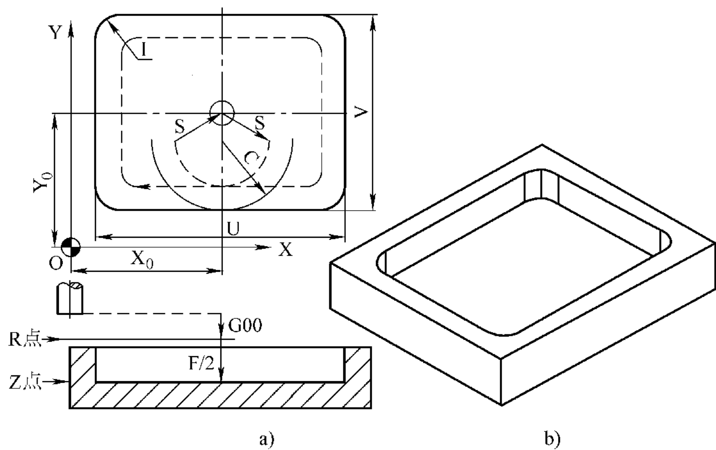


图3-62　方形凹槽类零件的侧面铣削走刀路线示意图
a）零件图　b）效果图

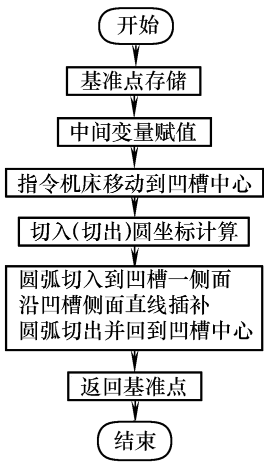


图3-63　铣削方形凹槽类零件侧面的用户宏程序结构流程框图

1. HNC—21/22M华中世纪星数控系统对方形凹槽类零件侧面铣削的用户宏程序

局部变量含义：

#23＝X_0；X_0—工件方形凹槽中心的X坐标绝对值

#24＝Y_0；Y_0—工件方形凹槽中心的Y坐标绝对值

#25＝Z；Z—最终加工深度

#17＝R；R—刀具起始切削安全高度

#8＝I；I—方形凹槽圆角半径值

#3＝D；D—刀具半径

#5 = F；F—切削进给速度
#20 = U；U—方形凹槽长度
#21 = V；V—方形凹槽宽度
#2 = C；C—切入圆弧半径
#18 = S；S—快速接近速度（S = 3F）
%3342；宏子程序头
N010　G90　G00　X[#23]　Y[#24]；指令刀具移到工件左侧凹槽中心
N015　Z[#17]；刀具快速下降到工件上方安全距离
N020　G01　Z[#25]　F[#5/2]；刀具以工进速度下降
N025　G01　X[#23 + [#2 - #3]]　Y[#24 - [#21/2 - #2]]　F[#18]；刀具直线插补到切入圆起点
N030　G02　X[#23]　Y[#24 - [#21/2 - #3]]　R[#2 - #3]　F[#5]；以 1/4 顺圆弧切线切入
N035　G01　X[#23 - [#20/2 - #3]]　Y[#24 - [#21/2 - #3]]　R[#8 - #3]；沿凹槽轮廓直线插补
N040　X[#23 - [#20/2 - #3]]　Y[#24 + [#21/2 - #3]]　R[#8 - #3]；沿凹槽轮廓直线插补
N045　X[#23 + [#20/2 - #3]]　Y[#24 + [#21/2 - #3]]　R[#8 - #3]；沿凹槽轮廓直线插补
N050　X[#23 + [#20/2 - #3]]　Y[#24 - [#21/2 - #3]]　R[#8 - #3]；沿凹槽轮廓直线插补
N055　X[#23]　Y[#24 - [#21/2 - #3]]；直线插补至切入圆终点(切出圆起点)
N060　G02　X[#23 - [#2 - #3]]　Y[#24 - [#21/2 - #2]]　R[#2 - #3]；1/4 顺圆弧切线切出
N065　G01　X[#23]　Y[#24]　F[#18]；返回方形凹槽中心
N070　G00　G90　Z[#17 + 50]；刀具快速抬起离开工件
N075　M99；宏程序结束并返回主程序

2. SINUMERIK 802D 数控系统对方形凹槽类零件侧面铣削的用户 R 参数子程序

R 参数含义：
R24 = X_0；X_0—工件方形凹槽中心的 X 坐标绝对值
R25 = Y_0；Y_0—工件方形凹槽中心的 Y 坐标绝对值
R26 = Z；Z—最终加工深度
R18 = R；R—刀具起始切削安全高度
R4 = I；I—方形凹槽圆角半径值
R7 = D；D—刀具半径
R9 = F；F—切削进给速度
R21 = U；U—方形凹槽长度
R22 = V；V—方形凹槽宽度
R3 = C；C—切入圆弧半径

R19＝S；S—快速接近速度（S＝3F）
L3342. SPF；R 参数程序名
N005 R24＝_ R25＝_ R26＝_ R18＝_ R4＝_ R3＝_ R19＝_ R7＝_ R9＝_ R21＝_ R22＝_；R 参数设置
N010 G90 G00 X＝R24 Y＝R25；指令刀具移到工件左侧凹槽中心
N015 Z＝R18；刀具快速下降到工件上方安全距离
N020 G01 Z＝R26 F＝R9/2；刀具以工进速度下降
N025 G01 X＝R24＋[R3－R7] Y＝R25－[R22/2－R3] F＝R19；刀具直线插补到切入圆起点
N030 G02 X＝R24 Y＝R25－[R22/2－R7] CR＝R3－R7 F＝R9；以 1/4 顺圆弧切线切入
N035 G01 X＝R24－[R21/2－R7] Y＝R25－[R22/2－R7] RND＝R4－R7；沿凹槽直线插补
N040 X＝R24－[R21/2－R7] Y＝R25＋[R22/2－R7] RND＝R4－R7；沿凹槽直线插补
N045 X＝R24＋[R21/2－R7] Y＝R25＋[R22/2－R7] RND＝R4－R7；沿凹槽直线插补
N050 X＝R24＋[R21/2－R7] Y＝R25－[R22/2－R7] RND＝R4－R7；沿凹槽直线插补
N055 X＝R24 Y＝R25－[R22/2－R7]；直线插补至切入圆终点（切出圆起点）
N060 G02 X＝R24－[R3－R7] Y＝R25－[R22/2－R3] CR＝R3－R7；1/4 顺圆弧切线切出
N065 G01 X＝R24 Y＝R25 F＝R19；返回方形凹槽中心
N070 G00 G90 Z＝R18＋50；刀具快速抬起离开工件
N075 RET；R 参数子程序结束并返回主程序

3. FANUC 0i 数控系统对方形凹槽类零件侧面铣削的用户宏程序

自变量含义：
#24＝X_0；X_0—工件方形凹槽中心的 X 坐标绝对值
#25＝Y_0；Y_0—工件方形凹槽中心的 Y 坐标绝对值
#26＝Z；Z—最终加工深度
#18＝R；R—刀具起始切削安全高度
#4＝I；I—方形凹槽圆角半径值
#7＝D；D—刀具半径
#9＝F；F—切削进给速度
#21＝U；U—方形凹槽长度
#22＝V；V—方形凹槽宽度
#3＝C；C—切入圆弧半径

#19 = S；S—快速接近速度（S = 3F）
O3342；宏程序名
N010　G90　G00　X#24　Y#25；指令刀具移到工件左侧凹槽中心
N015　Z#18；刀具快速下降到工件上方安全距离
N020　G01　Z#26　F[#9/2]；刀具以工进速度下降
N025　G01　X[#24 + [#3 - #7]]　Y[#25 - [#22/2 - #3]]　F[#19]；刀具直线插补到切入圆起点
N030　G02　X#24　Y[#25 - [#22/2 - #7]]　R[#3 - #7]　F#9；以 1/4 顺圆弧切线切入
N035　G01　X[#24 - [#21/2 - #7]]　Y[#25 - [#22/2 - #7]]　R[#4 - #7]；沿凹槽直线插补
N040　X[#24 - [#21/2 - #7]]　Y[#25 + [#22/2 - #7]]　R[#4 - #7]；沿凹槽直线插补
N045　X[#24 + [#21/2 - #7]]　Y[#25 + [#22/2 - #7]]　R[#4 - #7]；沿凹槽直线插补
N050　X[#24 + [#21/2 - #7]]　Y[#25 - [#22/2 - #7]]　R[#4 - #7]；沿凹槽直线插补
N055　X#24　Y[#25 - [#22/2 - #7]]；直线插补至切入圆终点（切出圆起点）
N060　G02　X[#24 - [#3 - #7]]　Y[#25 - [#22/2 - #3]]　R[#3 - #7]；1/4 顺圆弧切线切出
N065　G01　X#24　Y#25　F[#19]；返回方形凹槽中心
N070　G00　G90　Z[#18 + 50]；刀具快速抬起离开工件
N075　M99；宏程序结束并返回主程序

注意：

1）方形凹槽圆角半径 I 必须大于刀具半径值。

2）切入圆弧半径 C 必须大于刀具半径值。

3）刀具半径值必须大于 0。

4）程序中没有使用刀具半径补偿指令（G41、G42、G40）。

4. 编程举例

在铣床或加工中心上加工图 3-64 所示方形凹槽零件的侧面。假设方形凹槽加工长度最终尺寸为 150.0mm，宽度最终尺寸为 100.0mm，零件圆角半径为 10.0mm，深度为 10.0mm。

解：

（1）工艺设计　建立工件坐标系，方形凹槽零件的中心在工件坐标系中的 X、Y 绝对坐标为（100.0，80.0），工件表面为工件坐标系 Z 轴的零点，机床坐标系偏置值设置在 G54 寄存器中。

首先对工件进行预钻孔，然后采用不对称顺铣方式铣削零件的方形凹槽侧面，运用 1/4 圆弧切入与切出，切入圆半径为 40.0mm。铣削刀具选择 ϕ20.0mm 的立铣刀，取主轴转速为 500r/min、铣削进给速度为 150.0mm/min，主轴起始位置在零件上方 50.0mm 处，刀具起始切削高度为 2.0mm，最终加工位置为 Z - 10.0mm。根据不同数控系统，运用变量引数赋值和参数直接赋值编制宏程序。

（2）零件加工程序

1）HNC—21/22M 华中世纪星数控系统。

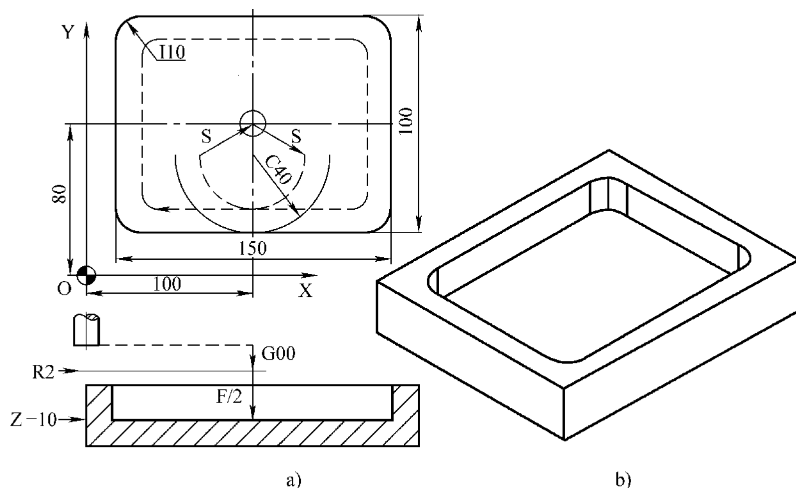


图 3-64 方形凹槽零件铣削编程实例走刀路线示意图
a）尺寸图 b）效果图

局部变量含义：
#20 = 150.0；方形凹槽加工长度最终尺寸
#21 = 100.0；方形凹槽加工宽度最终尺寸
#23 = 100.0；方形凹槽零件中心的横坐标绝对值
#24 = 80.0；方形凹槽零件中心的纵坐标绝对值
#25 = −10.0；垂直方向最终加工深度尺寸值
#18 = 1000.0；快速接近速度
#17 = 2.0；刀具起始切削安全高度
#8 = 10.0；方形凹槽零件圆角半径
#5 = 150.0；切削进给速度
#3 = 10.0；刀具半径
#2 = 40.0；切入圆半径（C≥刀具半径）
主程序如下：
O××××；文件名
%××××；程序号
N10 T01 M06；调用 1 号刀具
N15 G17 G90 G21 G94 G54 G40 G49 G80；工艺加工状态设置
N20 G43 G00 Z50.0 H01 S500 M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为 300r/min
N25 X0 Y0 M07；刀具快速移动到工件坐标零点，打开切削液
N26 G98 G81 X0 Y0 Z−10.0 R5.0 F100；调用固定循环程序钻削预钻孔
N27 T02 M06；调用 2 号刀具
N28 G43 G00 Z50.0 H02 S500 M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为 500r/min

N29　X0　Y0　M07；刀具快速移动到工件坐标零点，打开切削液
N30　M98　P3342　X100.0　Y80.0　Z－10.0　U150.0　V100.0　S1000.0　R2.0　I10.0　C40.0　D10.0　F150；调用加工方形凹槽类零件侧面的宏子程序
N35　G00　Z100.0　M09；刀具退到工件上表面100mm处，切削液关闭
N40　G49；取消刀具长度补偿
N45　G00　X0　Y0　M05；刀具退回工件坐标零点，主轴停止
N50　M30；程序结束并返回程序开头
%3342；方形凹槽侧面铣削用户宏程序（见前面）
⋮
M99；子程序结束，返回主程序

2）SINUMERIK 802D数控系统。

主程序如下：

FZG×××××；程序名
N05　R21＝150.0；方形凹槽加工长度最终尺寸
　　R22＝100.0；方形凹槽加工宽度最终尺寸
　　R24＝100.0；方形凹槽零件中心的横坐标绝对值
　　R25＝800.0；方形凹槽零件中心的纵坐标绝对值
　　R26＝－10.0；垂直方向最终加工深度尺寸值
　　R19＝1000.0；快速接近速度
　　R18＝2.0；刀具在零件上方的安全高度
　　R4＝10.0；方形凹槽零件圆角半径
　　R9＝150.0；切削进给速度
　　R7＝10.0；刀具半径
　　R3＝40.0；切入圆半径（C≥刀具半径）
N10　T1　M06；调用1号刀具
N15　G17　G90　G71　G94　G54　G40；工艺加工状态设置
N20　G00　Z50.0　D01　S300　M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为300r/min
N25　X0　Y0　M07；刀具快速移动到工件坐标零点，打开切削液
N26　GYCLE82（50，0，5，－10，2）；调用固定循环程序钻削预钻孔
N27　T02　M06；调用2号刀具
N28　G00　Z50.0　D02　S500　M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为500r/min
N29　X0　Y0　M07；刀具快速移动到工件坐标零点，打开切削液
N30　L3342；调用方形凹槽侧面铣削的用户R参数子程序
N35　G00　Z100.0　M09；刀具退到工件上表面100mm处，切削液关闭
N40　D00；取消刀具长度补偿
N45　G00　X0　Y0　M05；刀具退回工件坐标零点，主轴停止
N50　M02；程序结束并返回程序开头

L3342. SPF；方形凹槽侧面铣削用户 R 参数子程序（见前面）

⋮

RET；R 参数子程序结束，返回主程序

3）FANUC 0i 数控系统。

自变量含义：

#21 = 150.0；方形凹槽加工长度最终尺寸

#22 = 100.0；方形凹槽加工宽度最终尺寸

#24 = 100.0；方形凹槽零件中心的横坐标绝对值

#25 = 80.0；方形凹槽零件中心的纵坐标绝对值

#26 = −10.0；垂直方向最终加工深度尺寸值

#19 = 1000.0；快速接近速度

#18 = 2.0；刀具在零件上方的安全高度

#4 = 10.0；方形凹槽零件圆角半径

#9 = 150.0；切削进给速度

#7 = 10.0；刀具半径

#3 = 40.0；切入圆半径（C≥刀具半径）

主程序如下：

O××××；程序名

N10 T01 M06；调用 1 号刀具

N15 G17 G90 G21 G94 G54 G40 G49 G80；工艺加工状态设置

N20 G43 G00 Z50.0 H01 S300 M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为 300r/min

N25 X0 Y0 M07；刀具快速移动到工件坐标零点，打开切削液

N26 G98 G81 X0 Y0 Z−10.0 R5.0 F100；调用固定循环程序钻削预钻孔

N27 T02 M06；调用 2 号刀具

N28 G43 G00 Z50.0 H02 S500 M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为 500r/min

N29 X0 Y0 M07；刀具快速移动到工件坐标零点，打开切削液

N30 G65 P3342 X100.0 Y80.0 Z−10.0 U150.0 V100.0 S1000.0 R2.0 I10.0 C40.0 D10.0 F150；调用加工方形凹槽类零件侧面的宏子程序

N35 G00 Z100.0 M09；刀具退到工件上表面 100mm 处，切削液关闭

N40 G49；取消刀具长度补偿

N45 G00 X0 Y0 M05；刀具退回工件坐标零点，主轴停止

N50 M30；程序结束并返回程序开头

O3342；方形凹槽侧面铣削用户宏程序（见前面）

⋮

M99；子程序结束，返回主程序

说明：通过改变刀具半径来对方形凹槽进行粗、精加工

3.3.4.3　跑道形凹槽类零件侧面铣削宏程序编程

编制一个铣削加工图 3-65 所示跑道形凹槽类零件的通用程序。假设跑道形凹槽左侧圆弧中心的横坐标绝对值为 X_0，跑道形凹槽左侧圆弧中心的纵坐标绝对值为 Y_0，跑道形凹槽最终加工深度为 Z，刀具起始切削安全高度为 R，凹槽顶部 Z 轴绝对值为 H，跑道形凹槽左侧圆弧半径为 I，跑道形凹槽右侧圆弧半径为 J，凹槽左右圆弧中心距为 U，刀具半径为 D，切削进给速度为 F，Z 轴每次降层深度为 Q，有效切削刀具直径百分比为 E，螺旋线插补半径为 C（C≥刀具直径），精加工余量为 K。

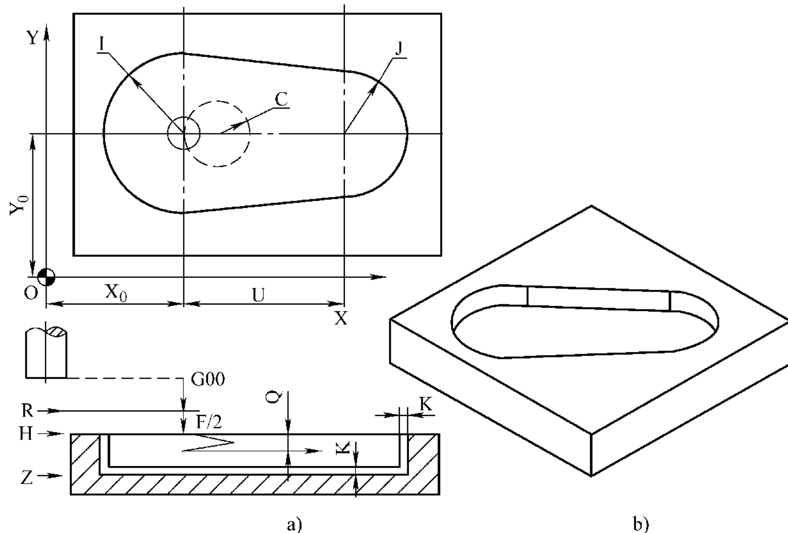


图 3-65　跑道形凹槽类零件的加工路线示意图
a）零件图　b）效果图

由图 3-65 分析，可画出该宏程序的结构流程框图，如图 3-66 所示。

说明：加工顺序为跑道形凹槽铣削粗加工、槽底部精加工、槽侧面精加工。

1. HNC—21/22M 华中世纪星数控系统跑道形凹槽类零件铣削的用户宏程序

局部变量含义：

#23 = X_0；X_0—工件跑道形凹槽左侧圆弧中心的横坐标绝对值

#24 = Y_0；Y_0—工件跑道形凹槽左侧圆弧中心的纵坐标绝对值

#25 = Z；Z—工件跑道形凹槽最终加工深度

#17 = R；R—刀具起始切削安全高度

#7 = H；H—螺旋线插补切削起始点的 Z 轴绝对坐标值

#8 = I；I—工件跑道形凹槽左侧圆弧半径

#9 = J；J—工件跑道形凹槽右侧圆弧半径

#20 = U；U—凹槽左右圆弧中心距

#3 = D；D—刀具半径

#5 = F；F—切削进给速度

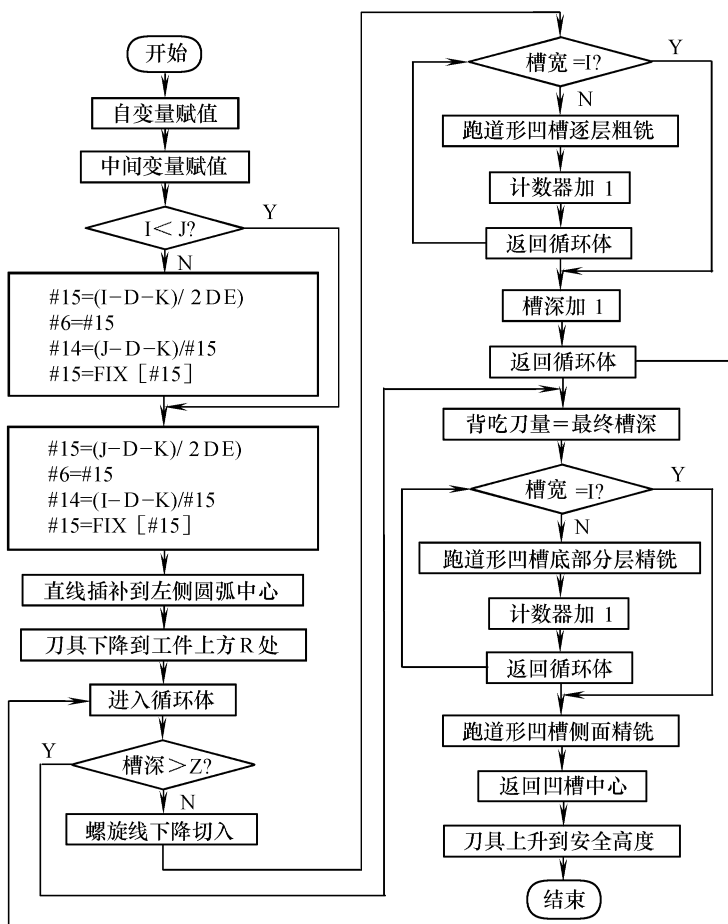


图 3-66 铣削跑道形凹槽的用户宏程序结构流程框图

#16 = Q；Q—凹槽粗加工 Z 轴每次降层深度

#4 = E；E—有效刀具直径百分比

#2 = C；C—螺旋切削插补半径

#10 = K；K—精加工余量

%3343；宏程序号

N005 #11 = #7—#16；H—Q

N010 #12 = 2 * #3 * #4；刀具有效切削直径(2DE)

N020 #106 = #25；把最终加工深度 Z 赋给#106

N030 IF #8GT#9；如果#8 大于#9，则程序跳转到 N060 程序段(比较左侧圆弧与右侧圆弧半径的大小)

N035 #15 = [#8 - #3 - #10]/#12；(I - D - K)/2DE(左侧圆弧切削均宽次数)

N040 #6 = #15；将左侧圆弧切削均宽次数赋给中间变量#6

N045 #14 = [#9 - #3 - #10]/#15；(J - D - K)/#15(右侧圆弧切削均宽宽度)

N050 #15 = INT[#15]；取整(分层切削数取整)

N055 ELSE；程序跳转到 N080 程序段

```
N060  #15=[#9-#3-#10]/#12；(J-D-K)/2DE(右侧圆弧切削均宽次数)
N065  #6=#15；将右侧圆弧均宽切削次数赋给中间变量#6
N070  #14=[#8-#3-#10]/#15；(I-D-K)/#15(左侧圆弧切削均宽宽度)
N075  #15=INT[#15]；取整(分层切削数取整)
N080  ENDIF；
N085  #101=#12；将刀具有效切削直径值赋给中间变量#101
N090  #12=#14；将一侧小圆弧切削均宽宽度值赋给中间变量#12
N095  #14=#101；将中间变量值赋给变量#14
N100  G90  G00  X[#23]  Y[#24]；指令刀具移到工件左侧圆弧中心
N105  Z[#17]；刀具快速下降到工件上方安全距离
N110  G01  Z[#7+#10]  F[#5/2]；刀具以工进速度下降
N115  WHILE  #11GE#25；如果#11 小于#9，则跳转到 N230(判断背吃刀量是否小于最
                       终加工深度)
N120  G02  I[#2]  Z[#11]  F[#5/4]；螺旋线进给切削
N125  #100=1；计数器置初始值
N130  #21=SQRT[#20*#20-[#8-#9]*[#8-#9]]；计算两圆弧切线长度
N135  #22=ATAN[[#8-#9]/#21]；切线与 X 轴夹角
N140  WHILE  #100LE#15；如果#100 大于#15，则程序跳转到 N215 程序段(判断计数器
                       值是否小于分层切削数)
N145  #104=#100*#12；左侧圆弧分层逐次切削宽度
N150  #105=#100*#14；右侧圆弧分层逐次切削宽度
N155  #27=#104*SIN[#22*PI/180]；左侧圆弧切点横坐标
N160  #28=#104*COS[#22*PI/180]；左侧圆弧切点纵坐标
N165  #29=#105*SIN[#22*PI/180]；右侧圆弧切点横坐标
N170  #30=#105*COS[#22*PI/180]；右侧圆弧切点纵坐标
N175  G01  X[#23+#20+#100*#105]  F[#5]；直线插补到右侧圆弧
N180  G02  X[#23+#20+#29]  Y[#24-#30]  I[-#105]  J0；沿跑道形凹槽内轮
                                                    廓圆弧插补
N185  G01  X[#23+#27]  Y[#24-#28]；沿跑道形凹槽内轮廓直线插补
N190  G02  X[#23+#27]  Y[#24+#28]  I[-#27]  J[#28]；沿跑道形凹槽内轮廓
                                                   圆弧插补
N195  G01  X[#23+#20+#29]  Y[#24+#30]；沿跑道形凹槽内轮廓直线插补
N200  G02  X[#23+#20+#100*#105]  Y[#24]  I[-#29]  J[-#30]；沿跑道形凹
                                                            槽内轮廓圆
                                                            弧插补
N205  #100=#100+1；计数器加 1
N210  ENDW；返回循环体 2
N215  G01  X[#23]  Y[#24]；直线插补到左侧圆弧中心
N220  #11=#11-#16；变量(背吃刀量)等量(Q)减少
```

N225 ENDW；返回循环体 1
N230 G02 I[#2] Z[#25] F[#5/4]；螺旋线进给切削，进入槽底部深度精加工
N235 #100 = 1；计数器置初始值
N240 WHILE #100LE#15；如果 100 大于#15，则程序跳转到 N315 程序段（判断计数器值是否小于分层切削数）
N245 #104 = #100 * #12；左侧圆弧分层逐次切削宽度
N250 #105 = #100 * #14；右侧圆弧分层逐次切削宽度
N255 #27 = #104 * SIN[#22 * PI/180]；左侧圆弧切点横坐标
N260 #28 = #104 * COS[#22 * PI/180]；左侧圆弧切点纵坐标
N265 #29 = #105 * SIN[#22 * PI/180]；右侧圆弧切点横坐标
N270 #30 = #105 * COS[#22 * PI/180]；右侧圆弧切点纵坐标
N275 G01 X[#23 + #20 + #100 * #105] F[#5]；直线插补到右侧圆弧
N280 G02 X[#23 + #20 + #29] Y[#24 - #30] I[- #105] J0；沿跑道形凹槽内轮廓圆弧插补
N285 G01 X[#23 + #27] Y[#24 - #28]；沿跑道形凹槽内轮廓直线插补
N290 G02 X[#23 + #27] Y[#24 + #28] I[- #27] J[#28]；沿跑道形凹槽内轮廓圆弧插补
N295 G01 X[#23 + #20 + #29] Y[#24 + #30]；沿跑道形凹槽内轮廓直线插补
N300 G02 X[#23 + #20 + #100 * #105] Y[#24] I[- #29] J[- #30]；沿跑道形凹槽内轮廓圆弧插补
N305 #100 = #100 + 1；计数器加 1
N310 ENDW；返回循环体 3
N315 G01 X[#23 + #20 + #9 - #3 - #2] Y[#24 + #2]；跑道形凹槽侧面轮廓精加工
N320 G02 X[#23 + #20 + #9 - #3] Y[#24] R[#2]；圆弧切入
N325 G02 X[#23 + #20 + [#9 - #3] * SIN[#22 * PI/180]] Y[#24 - [#9 - #3] * COS[#22 * PI/180]] I[- #9 + #3] J0；沿跑道形凹槽侧面轮廓圆弧插补
N330 G01 X[#23 + [#8 - #3] * SIN[#22 * PI/180]] Y[#24 - [#8 - #3] * COS[#22 * PI/180]]；沿跑道形凹槽侧面直线插补
N335 G02 X[#23 + [#8 - #3] * SIN[#22 * PI/180]] Y[#24 + [#8 - #3] * COS[#22 * PI/180]] I[- [#8 - #3] * SIN[#22PI/180]] J[[#8 - #3] * COS[#22 * PI/180]]；沿跑道形凹槽侧面圆弧插补
N340 G01 X[#23 + #20 + [#9 - #3] * SIN[#22 * PI/180]] Y[#24 + [#9 - #3] * COS[#22PI/180]]；沿跑道形凹槽侧面直线插补
N345 G02 X[#23 + #20 + #9 - #3] Y[#24] I[- [#9 - #3] * SIN[#22 * PI/180]] J[[#9 - #3] * COS[#22 * PI/180]]；沿跑道形凹槽侧面圆弧插补
N350 G02 X[#23 + #20 + #9 - #3 - #2] Y[#24 - #2] R[#2]；圆弧切出
N355 G01 X[#23] Y[#24]；返回左侧圆弧中心
N360 G00 Z[#17 + 50]；抬刀

N365　M99；程序结束，返回调用程序

2. SINUMERIK 802D 数控系统铣削加工跑道形凹槽的用户 R 参数程序

R 参数含义：

R24 = X_0；X_0—工件跑道形凹槽左侧圆弧中心的横坐标绝对值

R25 = Y_0；Y_0—工件跑道形凹槽左侧圆弧中心的纵坐标绝对值

R26 = Z；Z—工件跑道形凹槽最终加工深度

R18 = R；R—刀具起始切削安全高度

R11 = H；H—螺旋线插补切削起始点的 Z 轴绝对坐标值

R4 = I；I—工件跑道形凹槽左侧圆弧半径

R5 = J；J—工件跑道形凹槽右侧圆弧半径

R21 = U；U—圆弧中心距

R7 = D；D—刀具半径

R9 = F；F—切削进给速度

R17 = Q；Q—凹槽粗加工 Z 轴每次降层深度

R8 = E；E—有效刀具直径百分比

R3 = C；C—螺旋切削半径

R6 = K；K—精加工余量

L3343. SPF；R 参数子程序名

N005　R16 = R11 - R17；H - Q

N010　R12 = 2 * R7 * R8；刀具有效切削直径(2DE)

N020　R106 = R26；把最终加工深度 Z 赋给 R106

N030　IF　R4 < = R5　GOTOF　MARKE1；如果 R4(左侧圆弧半径)小于或等于 R5(右侧圆弧半径)时，则程序跳转到 MARKE1 程序段

N035　R15 = [R4 - R7 - R6]/R12；(I - D - K)/2DE(左侧圆弧切削次数宽度)

N040　R2 = R15；将左侧圆弧切削均宽次数赋给中间变量 R2

N045　R14 = [R5 - R7 - R6]/R15；(J - D - K)/R15(右侧圆弧切削均宽宽度)

N050　R15 = TRUN[R15]；取整(分层切削数取整)

N055　GOTOF　MARKE2；程序无条件跳转到 MARKE2 程序段

N060　MARKE1:R15 = [R5 - R7 - R6]/R12；(J - D - K)/2DE(右侧圆弧切削均次数)

N065　R2 = R15；将圆弧右侧均宽切削次数赋给中间变量 R2

N070　R14 = [R4 - R7 - R6]/R15；(I - D - K)/R15(左侧圆弧切削均宽宽度)

N075　R15 = TRUN[R15]；取整(分层切削数取整)

N080　MARKE2:R101 = R12；将刀具有效切削直径值赋给中间变量 R101

N085　R12 = R14；将右侧圆弧切削均宽宽度值赋给中间变量 R12

N090　R14 = R101；将中间变量值赋给变量 R14

N095　G90　G00　X = R24　Y = R25；指令刀具移到工件左侧圆弧中心

N100　Z = R18；刀具快速下降到工件上方安全距离

N105　G01　Z = R11 + R6　F = R9/2；刀具以工进速度下降

```
N110  MARKE3:G02  I=R3  Z=R16  F=R9/4; 螺旋线进给切削
N115  R100=1; 计数器置初始值
N120  R22=SQRT[R21*R21-[R4-R5]*[R4-R5]]; 计算两圆弧切线长度
N125  R23=ATAN[[R4-R5]/R22]; 切线与 X 轴夹角
N130  MARKE4:R104=R100*R12; 左侧圆弧分层逐次切削宽度
N135  R105=R100*R14; 右侧圆弧分层逐次切削宽度
N140  R27=R104*SIN[R23]; 左侧圆弧切点横坐标
N145  R28=R104*COS[R23]; 左侧圆弧切点纵坐标
N150  R29=R105*SIN[R23]; 右侧圆弧切点横坐标
N155  R30=R105*COS[R23]; 右侧圆弧切点纵坐标
N160  G01  X=[R24+R21+R100*R105]  F=R9; 直线插补到右侧圆弧
N165  G02  X=R24+R21+R29  Y=R25-R30  I=-R105  J0; 沿跑道形凹槽圆弧插补
N170  G01  X=R24+R27  Y=R25-R28; 沿跑道形凹槽直线插补
N175  G02  X=R24+R27  Y=R25+R28  I=-R27  J=R28; 沿跑道形凹槽圆弧插补
N180  G01  X=R24+R21+R29  Y=R25+R30; 沿跑道形凹槽直线插补
N185  G02  X=R24+R21+R100*R105  Y=25  I=-R29  J=-R30; 沿跑道形凹槽圆弧插补
N190  R100=R100+1; 计数器加 1
N195  IF  R100<=R15  GOTOB  MARKE4; 如果 R100 小于或等于 R15 时,则程序跳转到 MARKE4 程序段
N200  G01  X=R24  Y=R25; 直线插补左侧圆弧中心
N205  R16=R16-R17; 变量(背吃刀量)等量(Q)减少
N210  IF  R16>=R26  GOTOB  MARKE3; 如果 R16 大于或等于 R26 时,则程序跳转到 MARKE3 程序段
N215  G02  I=R3  Z=R26  F=R9/4; 螺旋线进给切削,进入槽底部深度槽加工
N220  R100=1; 计数器置初始值
N225  MARKE5:R104=R100*R12; 左侧圆弧分层逐次切削宽度
N230  R105=R100*R14; 右侧圆弧分层逐次切削宽度
N235  R27=R104*SIN[R23]; 左侧圆弧切点横坐标
N240  R28=R104*COS[R23]; 左侧圆弧切点纵坐标
N245  R29=R105*SIN[R23]; 右侧圆弧切点横坐标
N250  R30=R105*COS[R23]; 右侧圆弧切点纵坐标
N255  G01  X=R24+R21+R100*R105  F=R9; 直线插补到右侧圆弧
N260  G02  X=R24+R21+R29  Y=R25-R30  I=-R105  J0; 沿跑道形凹槽圆弧插补
N265  G01  X=R24+R27  Y=R25-R28; 沿跑道形凹槽直线插补
N270  G02  X=R24+R27  Y=R25+R28  I=-R27  J=R28; 沿跑道形凹槽圆弧插补
```

N275　G01　X = R24 + R21 + R29　Y = R25 + R30；沿跑道形凹槽直线插补
N280　G02　X = R24 + R21 + R100 * R105　Y = R25　I = －R29　J = －R30；沿跑道形凹槽圆弧插补
N285　R100 = R100 + 1；计数器加 1
N290　IF　R100 < = R15　GOTOB　MARKE5；如果 R100 小于或等于 R15 时，则程序跳转到 MARKE5 程序段
N295　G01　X = R24 + R21 + R5 － R7 － R3　Y = R25 + R3；跑道形凹槽侧面轮廓精加工
N300　G02　X = R24 + R21 + R5 － R7　Y = R25　CR = R3；圆弧切入
N305　G02　X = R24 + R21 +［R5 － R7］* SIN［R23］　Y = R25 －［R5 － R7］* COS［R23］　I = －R5 + R7　J0；沿跑道形凹槽侧面圆弧插补
N310　G01　X = R24 +［R4 － R7］* SIN［R23］　Y = R25 －［R4 － R7］* COS［R23］；沿跑道形凹槽侧面直线插补
N315　G02　X = R24 +［R4 － R7］* SIN［R23］　Y = R25 +［R4 － R7］* COS［R23］　I = －［R4 － R7］* SIN［R23］　J =［R4 － R7］* COS［R23］；沿跑道形凹槽侧面圆弧插补
N320　G01　X = R24 + R21 +［R5 － R7］* SIN［R23］　Y = R25 +［R5 － R7］* COS［R23］；沿跑道形凹槽侧面直线插补
N325　G02　X = －R24 + R21 + R5 － #R7　Y = R25　I = －［R5 － R7］* SIN［R23］］　J =［［R5 － R7］* COS［R23］；沿跑道形凹槽侧面圆弧插补
N330　G02　X = R24 + R21 + R5 － R7 － R3　Y = R25 － R3　CR = R3；圆弧切出
N335　G01　X = R24　Y = R25；返回左侧圆弧中心
N340　G00　Z = R18 + 50；抬刀
N345　RET；R 参数子程序结束，返回调用程序

3. FANUC 0i 数控系统铣削加工跑道形凹槽的用户宏程序

自变量含义：

#24 = X_0；X_0—工件跑道形凹槽左侧圆弧中心的横坐标绝对值
#25 = Y_0；Y_0—工件跑道形凹槽左侧圆弧中心的纵坐标绝对值
#26 = Z；Z—工件跑道形凹槽最终加工深度
#18 = R；R—刀具起始切削安全高度
#11 = H；H—螺旋线插补切削起始点的 Z 轴绝对坐标值
#4 = I；I—工件跑道形凹槽左侧圆弧半径
#5 = J；J—工件跑道形凹槽右侧圆弧半径
#21 = U；U—圆弧中心距
#7 = D；D—刀具半径
#9 = F；F—切削进给速度
#17 = Q；Q—凹槽粗加工 Z 轴每次降层深度
#8 = E；E—有效刀具直径百分比

```
#3 = C；C—螺旋切削半径
#6 = K；K—精加工余量
O3343；宏程序名
N005  #16 = #11 - #17；H - Q
N010  #12 = 2 * #7 * #8；刀具有效切削直径(2DE)
N020  #106 = #26；把最终加工深度 Z 赋给#106
N030  IF  [#4LT#5]  GOTO  60；如果#4 小于#5 时,则程序跳转到 N060(比较左侧圆
                                          弧与右侧圆弧半径的大小)
N035  #15 = [#4 - #7 - #6]/#12；(I - D - K)/2DE(左侧圆弧切削均宽次数)
N040  #2 = #15；将左侧圆弧切削均宽次数赋给中间变量#2
N045  #14 = [#5 - #7 - #6]/#15；(J - D - K)/#15(右侧圆弧切削均宽宽度)
N050  #15 = FIX[#15]；上取整(分层切削数取整)
N055  GOTO80；无条件跳转到 N080 程序段
N060  #15 = [#5 - #7 - #6]/#12；(J - D - K)/2DE(右侧圆弧切削均宽次数)
N065  #2 = #15；将左侧圆弧均宽切削次数赋给中间变量#2
N070  #14 = [#4 - #7 - #6]/#15；(I - D - K)/#15(左侧圆弧切削均宽宽度)
N075  #15 = FIX[#15]；上取整(分层切削数取整)
N080  #101 = #12；将刀具有效切削直径值赋给中间变量#101
N085  #12 = #14；将右侧圆弧切削均宽宽度值赋给中间变量#12
N090  #14 = #101；将中间变量值赋给变量#14
N095  G90  G00  X#24  Y#25；指令刀具移到工件左侧圆弧中心
N100  Z#18；刀具快速下降到工件上方安全距离
N105  G01  Z[#11 + #6]  F[#9/2]；刀具以工进速度下降
N110  WHILE  [#16GE#26]  DO1
；如果#16 小于#26 时,则程序跳转到 N225(判断背吃刀量是否小于最终加工深度)
N115  G02  I#3  Z#16  F[#9/4]；螺旋线进给切削
N120  #100 = 1；计数器置初始值
N125  #22 = SQRT[#21 * #21 - [#4 - #5] *  [#4 - #5]]；计算两圆弧切线长度
N130  #23 = ATAN[[#4 - #5]/#22]；切线与 X 轴夹角
N135  WHILE  [#100LE#15]  DO2；如果#100 大于#15 时,则程序跳转到 N210(判断计
                                          数器值是否大于分层切削数)
N140  #104 = #100 * #12；左侧圆弧分层逐次切削宽度
N145  #105 = #100 * #14；右侧圆弧分层逐次切削宽度
N150  #27 = #104 * SIN[#23]；左侧圆弧切点横坐标
N155  #28 = #104 * COS[#23]；左侧圆弧切点纵坐标
N160  #29 = #105 * SIN[#23]；右侧圆弧切点横坐标
N165  #30 = #105 * COS[#23]；右侧圆弧切点纵坐标
N170  G01  X[#24 + #21 + #100 * #105]  F#9；直线插补到右侧圆弧
N175  G02  X[#24 + #21 + #29]  Y[#25 - #30]  I - #105  J0；沿跑道形凹槽圆弧插补
```

```
N180　G01　X[#24+#27]　Y[#25-#28]；沿跑道形凹槽直线插补
N185　G02　X[#24+#27]　Y[#25+#28]　I-#27　J#28；沿跑道形凹槽圆弧插补
N190　G01　X[#24+#21+#29]　Y[#25+#30]；沿跑道形凹槽直线插补
N195　G02　X[#24+#21+#100*#105]　Y#25　I-#29　J-#30；沿跑道形凹槽圆弧
                                                      插补
N200　#100=#100+1；计数器加 1
N205　END2；返回循环体 2
N210　G01　X#24　Y#25；
N215　#16=#16-#17；变量(背吃刀量)等量(Q)减少
N220　END1；返回循环体 1
N225　G02　I#3　Z#26　F[#9/4]；螺旋线进给切削，进入槽底部深度精加工
N230　#100=1；计数器置初始值
N235　WHILE　[#100LE#15]　DO3；如果#100 大于#15 时，则程序跳转到 N310(判断计
                                  数器值是否小于分层切削数)
N240　#104=#100*#12；左侧圆弧分层逐次切削宽度
N245　#105=#100*#14；右侧圆弧分层逐次切削宽度
N250　#27=#104*SIN[#23]；左侧圆弧切点横坐标
N255　#28=#104*COS[#23]；左侧圆弧切点纵坐标
N260　#29=#105*SIN[#23]；右侧圆弧切点横坐标
N265　#30=#105*COS[#23]；右侧圆弧切点纵坐标
N270　G01　X[#24+#21+#100*#105]　F#9；直线插补到右侧圆弧
N275　G02　X[#24+#21+#29]　Y[#25-#30]　I-#105　J0；沿跑道形凹槽圆弧插补
N280　G01　X[#24+#27]　Y[#25-#28]；沿跑道形凹槽直线插补
N285　G02　X[#24+#27]　Y[#25+#28]　I-#27　J#28；沿跑道形凹槽直线插补
N290　G01　X[#24+#21+#29]　Y[#25+#30]；沿跑道形凹槽直线插补
N295　G02　X[#24+#21+#100*#105]　Y#25　I-#29　J-#30；沿跑道形凹槽圆弧
                                                      插补
N300　#100=#100+1；计数器加 1
N305　END3；返回循环体 3
N310　G01　X[#24+#21+#5-#7-#3]　Y[#25+#3]；跑道形凹槽侧面轮廓精加工
N315　G02　X[#24+#21+#5-#7]　Y#25　R#3；圆弧切入
N320　G02　X[#24+#21+[#5-#7]*SIN[#23]]　Y[#25-[#5-#7]*COS[#23]]
      I[-#5+#7]　J0；沿跑道形凹槽侧面圆弧插补
N325　G01　X[#24+[#4-#7]*SIN[#23]]　Y[#25-[#4-#7]*COS[#23]]；沿跑道形
                                                            凹槽侧面
                                                            直线插补
N330　G02　X[#24+[#4-#7]*SIN[#23]]　Y[#25+[#4-#7]*COS[#23]]
      I[-[#4-#7]*SIN[#23]]　J[[#4-#7]*COS[#23]]；沿跑道形凹槽侧面圆弧
                                                   插补
```

N335 G01 X[#24+#21+[#5-#7]*SIN[#23]] Y[#25+[#5-#7]*COS[#23]]; 沿跑道形凹槽侧面直线插补

N340 G02 X[#24+#21+#5-#7] Y#25 I[-[#5-#7]*SIN[#23]] J[[#5-#7]*COS[#23]]; 沿跑道形凹槽侧面圆弧插补

N345 G02 X[#24+#21+#5-#7-#3] Y[#25-#3] R#3; 圆弧切出

N350 G01 X#24 Y#25; 返回左侧圆弧中心

N355 G00 Z[#18+50]; 抬刀

N360 M99; 程序结束,返回调用程序

注意:

1) 刀具半径值 D 必须小于或等于跑道形凹槽圆弧半径 I 或 J。

2) R、H、Z 的设定值必须遵守关系: R>H>Z。

3) 有效切削刀具直径百分比 E 不可大于 1.0。

4) 精加工余量 K 不能大于 Q (0≤K≤Q≤H-Z)。

5) 每层加工深度 Q 不能大于零件总加工厚度 (R-Z), 关系为 0≤K≤Q≤H-Z。

6) 刀具半径值必须大于 0。

7) 程序中没有使用刀具半径补偿指令 G41、G42、G40。

4. 编程实例

在铣床或加工中心上加工图 3-67 所示跑道形凹槽零件的侧面。跑道形凹槽左侧圆弧半径为 100.0mm, 跑道形凹槽右侧圆弧半径为 80.0mm, 两圆弧中心距为 280.0mm, 跑道形凹槽深 20.0mm。试用变量 (或参数) 编写出加工此类零件的通用程序。

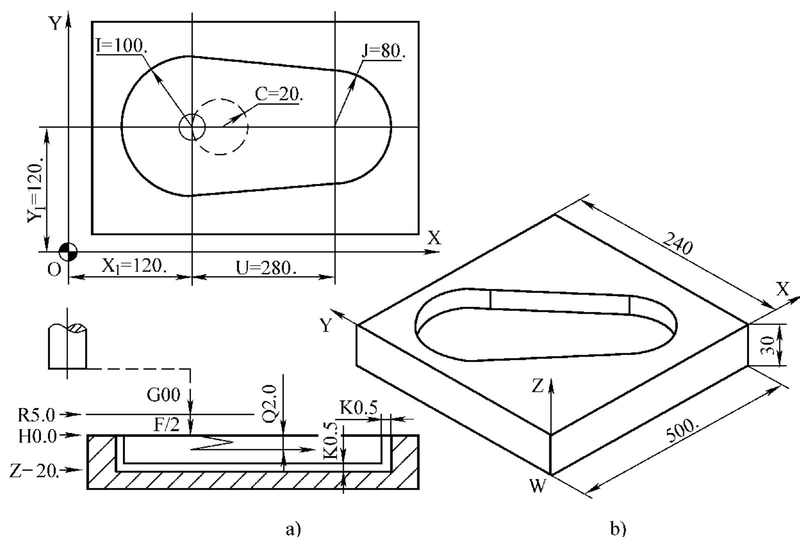


图 3-67 跑道形凹槽零件编程实例铣削刀具路线示意图

a) 尺寸图 b) 效果图

解：

（1）工艺设计　建立工件坐标系，确定跑道形凹槽左侧圆弧中心的工件绝对坐标为（120.0，120.0），工件表面为工件坐标系Z轴的零点，机床坐标系偏置值设置在G54寄存器中。

（2）加工顺序　螺旋下降分层粗铣跑道形凹槽，精加工槽底部，精加工跑道形凹槽侧面。

采用不对称顺铣削方式铣削跑道形凹槽。螺旋下降分层粗铣跑道形凹槽时，Z轴每次等高下降深度Q为2.0mm；凹槽底部和凹槽侧面的精加工余量K为0.5mm。

铣刀直径为ϕ32.0mm，主轴转速为500r/min，铣削进给速度为150mm/min，主轴起始位置在零件上方50.0mm处，螺旋线插补半径为10mm，刀具起始切削安全高度在零件上方5.0mm处，Z轴每次降层深度为2.0mm，有效切削刀具直径百分比为0.7，螺旋线插补半径为20.0mm，精加工余量为0.5mm。根据不同数控系统，运用变量引数赋值和参数直接赋值编制宏程序。

（3）零件加工程序

1）HNC—21/22M华中世纪星数控系统。

局部变量含义：

#23＝120.0；工件跑道形凹槽左侧圆弧中心的横坐标绝对值
#24＝120.0；工件跑道形凹槽左侧圆弧中心的纵坐标绝对值
#25＝－20.0；工件跑道形凹槽最终加工深度
#17＝5.0；刀具起始切削安全高度
#7＝0.0；螺旋线插补切削起始点的Z轴绝对坐标值
#8＝100.0；工件跑道形凹槽左侧圆弧半径
#9＝80.0；工件跑道形凹槽右侧圆弧半径
#20＝280.0；凹槽左右圆弧中心距
#3＝32.0；刀具半径
#5＝150.0；切削进给速度
#16＝2.0；凹槽粗加工Z轴每次降层深度
#4＝0.7；有效刀具直径百分比
#2＝20.0；螺旋切削插补半径
#10＝0.5；精加工余量

主程序如下：

O××××；文件名
%××××；程序号
N10　T01　M06；调用1号刀
N15　G17　G90　G21　G94　G54　G40　G49　G80；程序运行初始状态设置
N20　G43　G00　Z50.0　H01　S500　M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为500r/min
N25　X0.0　Y0.0　M07；刀具快速移动到工件坐标零点，打开切削液
N30　M98　P3343　X120.0　Y120.0　Z－20.0　R5.0　H0.　U280.0　I100.0　J80.0　D16.0　F150.　Q2.0　E0.7　C20.0　K0.5；调用加工跑道形凹槽侧面铣削的宏程序

N35 G00 Z100.0 M09；刀具退到工件上表面100mm处，切削液关闭
N40 G49；取消刀具长度补偿
N45 X0 Y0 M05；刀具退回工件坐标零点，主轴停止
N50 M30；程序结束并返回程序开头
%3343；跑道形凹槽侧面铣削用户宏程序（见前面）
⋮
M99；子程序结束，返回主程序

2）SINUMERIK 802D数控系统。

主程序如下：

FZG×××××；程序名
N05 R24=120.0；工件跑道形凹槽左侧圆弧中心的横坐标绝对值
R25=120.0；工件跑道形凹槽左侧圆弧中心的纵坐标绝对值
R26=-20.0；工件跑道形凹槽最终加工深度
R18=5.0；刀具起始切削安全高度
R11=0.0；螺旋线插补切削起始点的Z轴绝对坐标值
R4=100.0；工件跑道形凹槽左侧圆弧半径
R5=80.0；工件跑道形凹槽右侧圆弧半径
R21=280.0；圆弧中心距
R7=32.0；刀具半径
R9=150.0；切削进给速度
R17=2.0；凹槽粗加工Z轴每次降层深度
R8=0.7；有效刀具直径百分比
R3=20.0；螺旋切削半径
R6=0.5；精加工余量
N10 T1 D1；调用1号刀
N15 G17 G90 G71 G94 G54 G40；程序运行初始状态设置
N20 G00 Z50.0 S500 M03；主轴正转，转速为500r/min
N25 X0.0 Y0.0 M07；刀具快速移动到工件坐标零点，打开切削液
N35 L3343；调用加工跑道形凹槽侧面铣削的R参数子程序
N40 G00 Z100.0 M09；刀具退到工件上表面100mm处，切削液关闭
N42 D00；取消刀具长度补偿
N45 X0 Y0 M05；刀具退回工件坐标零点，主轴停止
N50 M02；程序结束并返回程序开头
L3343；跑道形凹槽侧面铣削用户R参数子程序（见前面）
⋮
RET；R参数子程序结束，返回主程序

3）FANUC 0i数控系统。

自变量含义：

#24=120.0；工件跑道形凹槽左侧圆弧中心的横坐标绝对值

#25 = 120.0；工件跑道形凹槽左侧圆弧中心的纵坐标绝对值
#26 = -20.0；工件跑道形凹槽最终加工深度
#18 = 5.0；刀具起始切削安全高度
#11 = 0.0；螺旋线插补切削起始点的 Z 轴绝对坐标值
#4 = 100.0；工件跑道形凹槽左侧圆弧半径
#5 = 80.0；工件跑道形凹槽右侧圆弧半径
#21 = 280.0；圆弧中心距
#7 = 32.0；刀具半径
#9 = 150.0；切削进给速度
#17 = 2.0；凹槽粗加工 Z 轴每次降层深度
#8 = 0.7；有效刀具直径百分比
#3 = 20.0；螺旋切削半径
#6 = 0.5；精加工余量

主程序如下：

```
O××××；程序名
N10  T01  M06；调用 1 号刀
N15  G17  G90  G21  G94  G54  G40  G49  G80；工艺加工状态设置
N20  G43  G00  Z50.0  H01  S500  M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为 500r/min
N25  X0.0  Y0.0  M07；刀具快速移动到工件坐标零点，打开切削液
N30  G65  P3343  X120.0  Y120.0  Z-20.0  R5.0  H0.  U280.0  I100.0  J80.0  D16.0  F150.  Q2.0  E0.7  C20.0  K0.5；调用加工跑道形凹槽侧面铣削的宏程序
N35  G00  Z100.0  M09；刀具退到工件上表面 100mm 处，切削液关闭
N40  G49；取消刀具长度补偿
N45  X0  Y0  M05；刀具退回工件坐标零点，主轴停止
N50  M30；程序结束并返回程序开头
O3343；跑道形凹槽侧面铣削用户宏程序（见前面）
⋮
M99；子程序结束，返回主程序
```

3.3.5　锥台类零件侧面铣削宏程序编程实例

3.3.5.1　圆形锥台类零件侧面铣削宏程序编程

编制一个铣削加工图 3-68 所示圆形锥台类零件侧面的通用程序。假设圆形锥台零件锥底圆直径为 I，顶圆直径为 J，锥台高度为 H。

工艺分析：加工此类零件曲面，圆弧切入点一般选择在坐标轴上，采用由上而下轴向逐层下降的方法进行铣削，通过锥面的轴向递增，采用不对称顺铣方式加工。在垂直轴上以 Z 分段，以 0.1～0.5mm 为一个步距，并把 Z 值作为自变量。为了适应不同的圆形锥台（即不

同的斜率）、不同的大小和不同的步距，下面编制一个只用变量、不用具体数值的宏程序，然后在主程序中呼出该宏程序的用户宏指令段为上述变量赋值。这样，对于不同大小的圆形锥台和不同的步距，不必更改宏程序，而只要修改主程序中用户宏指令段内的赋值数据就可以了。注意：为了保证圆形锥台曲面的精度，以上下移动的轴向值为循环条件的判断，使每循环一次的 Z 值变化为均值。

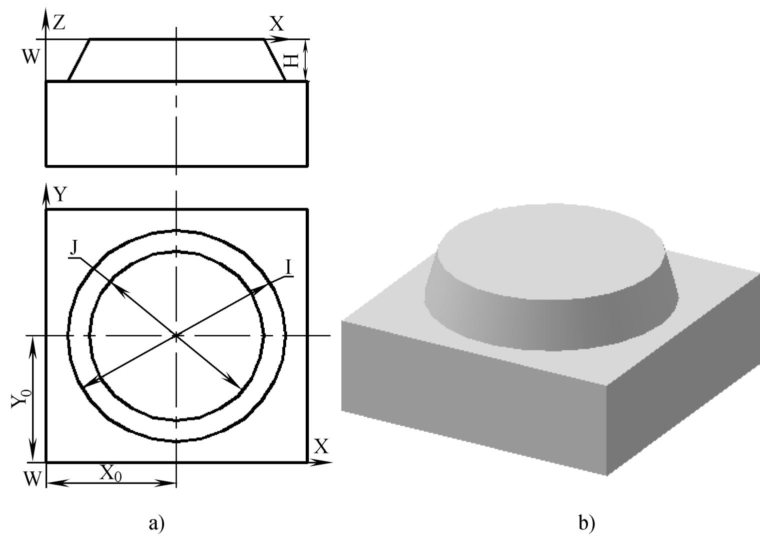


图 3-68 圆形锥台类零件示意图

a）零件图 b）效果图

由图 3-68 可知锥面的斜率为

$$k = \tan\alpha = \frac{对边}{邻边} = \frac{I-J}{2} \times \frac{1}{H} = \frac{I-J}{2H}$$

由以上工艺分析，可画出图 3-69 所示该宏程序的结构流程框图。

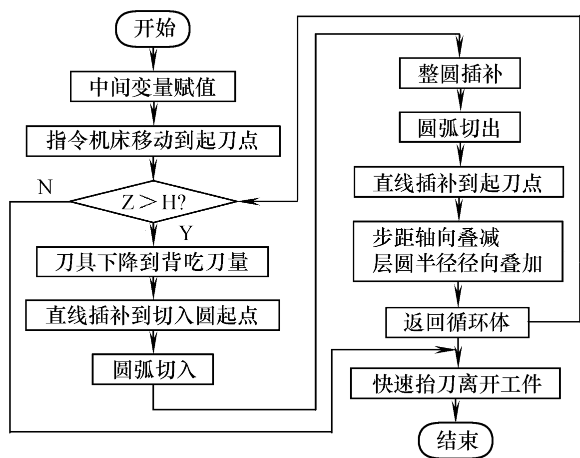


图 3-69 圆形锥台类零件侧面铣削的用户宏程序结构流程框图

1. HNC—21/22M 华中世纪星数控系统对铣削圆形锥台零件侧面的用户宏程序

局部变量含义：

#23 = X_0；X_0—圆形锥台中心的工件 X 向绝对坐标值

#24 = Y_0；Y_0—圆形锥台中心的工件 Y 向绝对坐标值

#25 = Z；Z—圆形锥台顶圆的工件 Z 向绝对坐标值

#17 = R；R—刀具起始切削安全高度

#7 = H；H—圆形锥台的高度

#8 = I；I—圆形锥台底部外圆直径

#9 = J；J—圆形锥台顶部外圆直径

#10 = k；k—锥面斜率

#3 = D；D—刀具半径

#4 = E；E—轴向步距（E = 0.1 ~ 0.5mm）

#5 = F；F—切削进给速度

```
%3351；宏程序号
N005    #30 = #9/2；顶圆半径值赋给中间变量#30
        #31 = #3 + 5；切入(切出)圆弧半径
N010    G90    G00    X[#23 + #8 + #31]    Y[#24]；指令刀具移到工件圆弧右侧
N015    Z[#17]；刀具快速下降到工件上方安全距离
N020    WHILE    #25GE#7；如果#25 小于#7,则程序跳转至 N075 程序段
N025    G01    X[#23 + #30 + #31 + #3]    Y[#24 - #31]    F[3 * #5]；刀具直线插补到切入
                                                                        圆起点
N030    G01    Z[#25]    F[#5]；刀具以工进速度下降
N035    G02    X[#23 + #30 + #3]    Y[#24]    R[#31]    F[2 * #5]；圆弧切线切入
N040    G03    I[ - #30 - #3]    J0；整圆不对称顺铣插补
N045    G02    X[#23 + #30 + #31 + #3]    Y[#24 + #31]    R[#31]；圆弧切线切出
N050    G01    X[#23 + #8 + #31]    Y[#24]    F[3 * #9]；返回工件圆弧右侧起刀点
N060    #25 = #25 - #4；步距轴向叠减
N065    #30 = #30 + #4/#10；层圆半径径向叠加
N070    ENDW；返回循环体
N075    G00    G90    Z[#17 + 50]；刀具快速抬起离开工件
N080    M99；宏程序结束并返回主程序
```

2. SINUMERIK 802D 数控系统对铣削圆形锥台零件侧面的用户 R 参数程序

R 参数含义：

R24 = X_0；X_0—圆形锥台中心的工件 X 向绝对坐标值

R25 = Y_0；Y_0—圆形锥台中心的工件 Y 向绝对坐标值

R26 = Z；Z—圆锥台顶圆的工件 Z 向绝对坐标值

R18 = R；R—刀具起始切削安全高度

R11 = H；H—圆形锥台的高度

R4 = I；I—圆形锥台底部外圆直径

R5 = J；J—圆形锥台顶部外圆直径
R6 = k；k—锥面斜率
R7 = D；D—刀具半径
R8 = E；E—轴向步距(E = 0.1 ~ 0.5mm)
R9 = F；F—切削进给速度
L3351；R 参数子程序名
N010　R30 = R5/2；顶圆半径值赋给中间变量 R30
　　R31 = R7 + 5；切入(切出)圆弧半径
N015　G90　G00　X = R24 + R4 + R31　Y = R25；指令刀具移到工件圆弧右侧
N020　Z = R18；刀具快速下降到工件上方安全距离
N025　MARKE1:G01　X = R24 + R30 + R31 + R7　Y = R25 - R31　F = 3 * R9；刀具直线插补到切入圆起点
N030　G01　Z = R26　F = R9；刀具以工进速度下降
N035　G02　X = R24 + R30 + R7　Y = R25　CR = R31　F = 2 * R9；圆弧切线切入
N040　G03　I = - R30 - R7　J0；整圆不对称顺铣插补
N045　G02　X = R24 + R30 + R31 + R7　Y = R25 + R31　CR = R31；圆弧切线切出
N050　G01　X = R24 + R4 + R31　Y = R25　F = 3 * R9；返回工件圆弧右侧起刀点
N060　R26 = R26 - R8；步距轴向叠减
N065　R30 = R30 + R8/R6；层圆半径径向叠加
N070　IF　R26 > = R11　GOTOB　MARKE1；如果 R26 大于或等于 R11,则跳转至标志符 MARKER1
N075　G00　G90　Z[R18 + 50]；刀具快速抬起离开工件
N080　RET；R 参数子程序结束并返回主程序

3. FANUC 0i 数控系统对铣削圆形锥台零件侧面的用户宏程序

自变量含义：
#24 = X_0；X_0—圆形锥台中心的工件 X 向绝对坐标值
#25 = Y_0；Y_0—圆形锥台中心的工件 Y 向绝对坐标值
#26 = Z；Z—圆形锥台顶圆的工件 Z 向绝对坐标值
#18 = R；R—刀具起始切削安全高度
#11 = H；H—圆形锥台的高度
#4 = I；I—圆形锥台底部外圆直径
#5 = J；J—圆形锥台顶部外圆直径
#6 = k；k—锥面斜率
#7 = D；D—刀具半径
#8 = E；E—轴向步距(E = 0.1 ~ 0.5mm)
#9 = F；F—切削进给速度
O3351；宏程序名
N005　#30 = #5/2；顶圆半径值赋给中间变量#30
　　#31 = #7 + 5；切入(切出)圆弧半径

N010　G90　G00　X[#24 + #4 + #31]　Y#25；指令刀具移到工件圆弧右侧

N015　Z#18；刀具快速下降到工件上方安全距离

N020　WHILE　[#26GE#11]　DO1；如果#26 小于#11，则程序跳转至 N075 程序段

N025　G01　X[#24 + #30 + #31 + #7]　Y[#25 − #31]　F[3 * #9]；刀具直线插补到切入圆起点

N030　G01　Z#26　F#9；刀具以工进速度下降

N035　G02　X[#24 + #30 + #7]　Y#25　R#31　F[2 * #9]；圆弧切线切入

N040　G03　I[− #30 − #7]　J0；整圆不对称顺铣插补

N045　G02　X[#24 + #30 + #31 + #7]　Y[#25 + #31]　R#31；圆弧切线切出

N050　G01　X[#24 + #4 + #31]　Y#25　F[3 * #9]；返回工件圆弧右侧起刀点

N060　#26 = #26 − #8；步距轴向叠减

N065　#30 = #30 + #8/#6；层圆半径径向叠加

N070　END1；返回循环体

N075　G00　G90　Z[#18 + 50]；刀具快速抬起离开工件

N080　M99；宏程序结束并返回主程序

注意：

1）切入圆弧半径必须大于或等于刀具半径值。

2）刀具半径值必须大于 0。

3）程序中没有使用刀具半径补偿指令 G41、G42、G40。

4. 编程举例

在铣床或加工中心上加工图 3-70 所示圆形锥台零件的侧面。已知圆形锥台零件锥底圆直径为 50mm，顶圆直径为 40mm，锥台高度为 10mm。

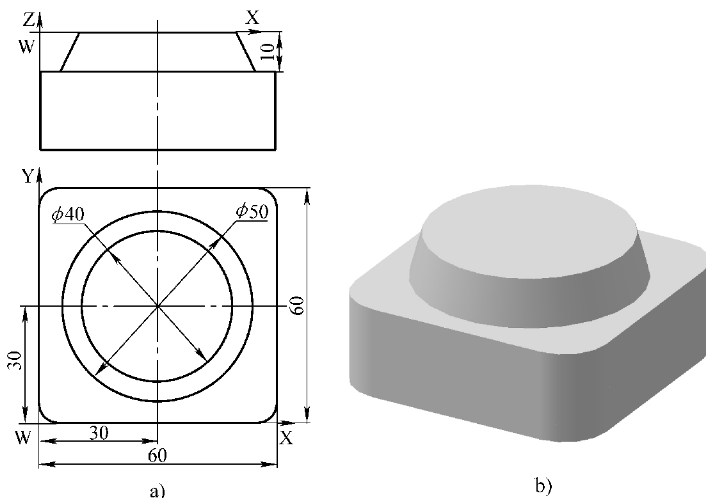


图 3-70　圆形锥台零件侧面铣削编程实例走刀路线示意图

a）尺寸图　b）效果图

解：

（1）工艺设计　建立工件坐标系，零件圆锥台中心在工件坐标系中的 X、Y 绝对坐标为

（30，30），工件表面为工件坐标系 Z 轴的零点，机床坐标系偏置值设置在 G54 寄存器中。

首先用 ϕ25mm 立铣刀铣削锥台周围去余量，然后用 ϕ16mm 立铣刀采用顺铣方式铣削锥台侧面，采用由上而下轴向逐层下降的方法进行铣削，按锥面的轴向递增之比以不对称顺铣方式加工。

锥面的斜率为

$$k=\tan\alpha=\frac{对边}{邻边}=\frac{I-J}{2}\times\frac{1}{H}=\frac{50-40}{20}=0.5$$

铣削刀具为 ϕ25mm 的立铣刀时，取主轴转速为 450r/min、铣削进给速度为 150mm/min；铣削刀具为 ϕ16mm 的立铣刀时，取主轴转速为 1200r/min、铣削进给速度为 350mm/min。主轴起始位置在零件上方 50mm 处，刀具起始切削高度 2mm，最终加工位置为 Z－10.0mm。根据不同数控系统，运用变量引数赋值和参数直接赋值在主程序中呼出该宏程序的用户宏指令段为上述变量赋值。

（2）零件加工程序

1）HNC—21/22M 华中世纪星数控系统。

局部变量含义：

#23＝30；圆形锥台中心的工件横向绝对坐标值

#24＝30；圆形锥台中心的工件纵向绝对坐标值

#25＝0；圆形锥台顶圆的工件垂向绝对坐标值

#17＝2；刀具起始切削安全高度

#7＝－10；圆形锥台的高度

#8＝50；圆形锥台底部外圆直径

#9＝40；圆形锥台顶部外圆直径

#10＝0.5；锥面斜率

#3＝8；刀具半径

#4＝0.2；轴向步距

#5＝350；切削进给速度

O××××；文件名

%××××；程序名

N10 T01 M06 D01；调用 1 号刀具（ϕ25mm 立铣刀）

N15 G17 G90 G21 G94 G54 G40 G49 G80；工艺加工状态设置

N20 G43 G00 Z50.0 H01 S450 M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为 450r/min

N25 X80 Y0 M07；刀具快速移动到工件坐标零点，打开切削液

N30 M98 P50；调用铣削锥台周围余量子程序

N35 M06 T02 D02；调用 2 号刀（ϕ16mm 立铣刀）

N40 G43 G00 Z50.0 H02 S1200 M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为 1200r/min

N45 M98 P3351 X30.0 Y30.0 Z0.0 R2.0 H－10.0 I50.0 J40.0 K0.5 D8.0 E0.2 F350；调用铣削圆形锥台零件侧面的宏子程序

N50　G00　Z100.0　M09；刀具退到工件上表面 100mm 处，切削液关闭
N55　G49；取消刀具长度补偿
N60　G00　X80　Y0　M05；刀具退回工件坐标零点，主轴停止
N65　M30；程序结束并返回程序开头
%50；去锥台周围余量子程序（略）
⋮
M99；子程序结束并返回主程序
%3351；圆形锥台类零件侧面宏子程序（见上）
⋮
M99；子程序结束并返回主程序

2）SINUMERIK 802D 数控系统。

主程序如下：

FZG×××××；程序名
N05　R24=30；圆形锥台中心的工件横向绝对坐标值
　　R25=30；圆形锥台中心的工件纵向绝对坐标值
　　R26=0；圆形锥台顶圆的工件垂向绝对坐标值
　　R18=2；刀具起始切削安全高度
　　R11=-10；圆形锥台的高度
　　R4=50；圆形锥台底部外圆直径
　　R5=40；圆形锥台顶部外圆直径
　　R6=0.5；锥面斜率
　　R7=8；刀具半径
　　R8=0.2；轴向步距
　　R9=350；切削进给速度
N10　T01　M06　D01；调用 1 号刀具（ϕ25mm 立铣刀）
N15　G17　G90　G71　G94　G54　G40；工艺加工状态设置
N20　G00　Z50.0　S450　M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为 450r/min
N25　X80　Y0　M07；刀具快速移动到工件坐标零点，打开切削液
N30　L50；调用铣削锥台周围余量子程序
N35　M06　T02　D02；调用 2 号刀（ϕ16mm 立铣刀）
N40　G00　Z50.0　S1200　M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为 1200r/min
N45　R24=30　R25=30　R26=0　R18=2　R11=-10　R4=50　R5=40　R6=0.5
　　R7=8　R8=0.2　R9=350；参数设置
N50　L3351；调用铣削圆形锥台零件侧面的 R 参数子程序
N55　G00　Z100.0　M09；刀具退到工件上表面 100mm 处，切削液关闭
N60　D00；取消刀具长度补偿
N65　G00　X0　Y0　M05；刀具退回工件坐标零点，主轴停止
N70　M02；程序结束并返回程序开头
L50；去锥台周围余量子程序（略）

⋮
RET；子程序结束并返回主程序
L3351；圆形锥台类零件侧面 R 参数子程序（见上）
⋮
RET；R 参数子程序结束并返回主程序
3）FANUC 0i 数控系统。
自变量含义：
#24 =30；圆形锥台中心的工件横向绝对坐标值
#25 =30；圆形锥台中心的工件纵向绝对坐标值
#26 =0；圆形锥台顶圆的工件垂向绝对坐标值
#18 =2；刀具起始切削安全高度
#11 = -10；圆形锥台的高度
#4 =50；圆形锥台底部外圆直径
#5 =40；圆形锥台顶部外圆直径
#6 =0.5；锥面斜率
#7 =8；刀具半径
#8 =0.2；轴向步距
#9 =350；切削进给速度
主程序如下：
O××××；程序名
N10 T01 M06 D01；调用 1 号刀具（ϕ25mm 立铣刀）
N15 G17 G90 G21 G94 G54 G40 G49 G80；工艺加工状态设置
N20 G43 G00 Z50.0 H01 S450 M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为 450r/min
N25 X80 Y0 M07；刀具快速移动到工件坐标零点，打开切削液
N30 G65 P50；调用铣削锥台周围余量子程序
N35 M06 T02 D02；调用 2 号刀（ϕ16mm 立铣刀）
N40 G43 G00 Z50.0 H02 S1200 M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为 1200r/min
N45 G65 P3351 X30.0 Y30.0 Z0.0 R2.0 H-10.0 I50.0 J40.0 K0.5 D8.0 E0.2 F350；调用铣削圆形锥台零件侧面的宏子程序
N50 G00 Z100.0 M09；刀具退到工件上表面 100mm 处，切削液关闭
N55 G49；取消刀具长度补偿
N60 G00 X80 Y0 M05；刀具退回工件坐标零点，主轴停止
N65 M30；程序结束并返回程序开头
O50；去锥台周围余量子程序（略）
⋮
M99；子程序结束并返回主程序
O3351；圆形锥台类零件侧面宏子程序（见上）

⋮

M99；子程序结束并返回主程序

说明： 通过改变刀具半径变量进行粗、精加工。

3.3.5.2　正四棱锥台类零件侧面铣削宏程序编程

编制一个铣削加工图 3-71 所示正四棱锥台类零件侧面的通用程序。假设正四棱锥台零件锥底尺寸为 U×V，锥台顶部尺寸为 I×J，左右和前后斜面与垂直面的夹角相等，锥台高度为 H。

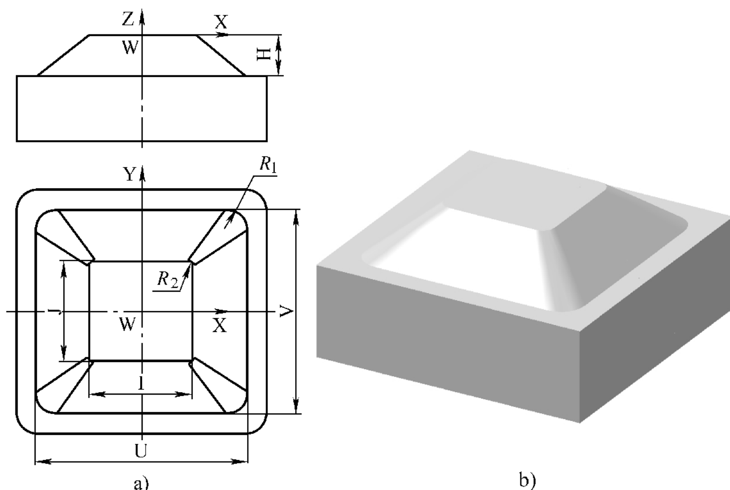


图 3-71　正四棱锥台类零件示意图

a）零件图　b）效果图

工艺分析：加工此类零件曲面，采用由下而上轴向逐层上升的方法进行铣削，通过锥面的轴向递减，采用不对称顺铣方式加工。在垂直轴上以 Z 分段，以 0.1～0.5mm 为一个步距，并把 Z 值作为自变量。为了适应不同的正四棱锥台（即不同的斜率）、不同的大小和不同的步距，下面编制一个只用变量、不用具体数值的宏程序，然后在主程序中呼出该宏程序的用户宏指令段为上述变量赋值。这样，对于不同大小的正四棱锥台和不同的步距，不必更改宏程序，而只需修改主程序中用户宏指令段内的赋值数据就可以了。注意：为了保证正四棱锥台曲面的精度，以上下移动的轴向值为循环条件的判断，使每循环一次的 Z 值变化为均值。

由图 3-71 可知锥面的斜率为

$$k_1 = \tan\alpha = \frac{对边}{邻边} = \frac{U-I}{2} \times \frac{1}{H} = \frac{V-J}{2} \times \frac{1}{H}$$

锥台圆角半径缩小率为

$$k_2 = \frac{R_1 - R_2}{H}$$

由以上工艺分析，可画出图 3-72 所示该宏程序的结构流程图。

1. HNC—21/22M 华中世纪星数控系统对铣削正四棱锥台类零件侧面的用户宏程序

局部变量含义：

#20 = U；U—正四棱锥台锥底的横向尺寸值

#21 = V；V—正四棱锥台锥底的纵向尺寸值

#8 = I；I—正四棱锥台锥顶的横向尺寸值

#9 = J；J—正四棱锥台锥顶的纵向尺寸值

#25 = Z；Z—正四棱锥台顶部的工件垂向绝对坐标值

#17 = R；R—刀具起始切削安全高度

#7 = H；H—正四棱锥台的高度（最终加工深度）

#10 = k_1；k_1—锥面斜率

#12 = k_2；k_2—圆角半径缩小率

#4 = E；E—Z 向递增（减）均值

#2 = C；C—锥底倒圆半径

#3 = D；D—刀具半径

#5 = F；F—切削进给速度

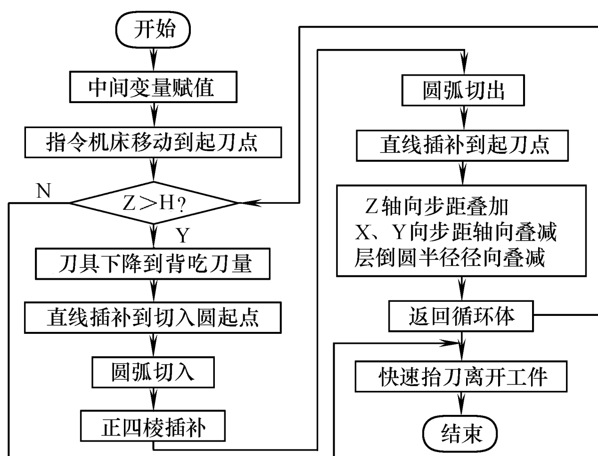


图 3-72 正四棱锥台类零件侧面铣削的用户宏程序结构流程框图

```
%52；宏程序号
N005  #30 = #20/2；正四棱锥台锥底的横向尺寸值的一半赋给中间变量#30
      #31 = #21/2；正四棱锥台锥底的纵向尺寸值的一半赋给中间变量#31
      #32 = #2；锥底倒圆半径赋给中间变量#32
      #33 = #3 + 5；切入（切出）圆弧半径
N010  G90  G00  X[#20 + #33]  Y0；指令刀具移到工件右侧下刀点
N015  Z[#17]；刀具快速下降到工件上方安全距离
N020  WHILE#7LE#25；如果#7 大于#25，则跳转至 N100 程序段
N025  G01  Z[#7]  F[3 * #5]；刀具以工进速度移动
N030  G01  X[#30 + #33 + #3]  Y[ - #33]  F[2 * #5]；刀具直线插补到切入圆起点
N035  G02  X[#30 + #3]  Y0  R[#33]  F[#5]；圆弧切线切入
N040  G01  X[#30 + #3]  Y[#31 + #3]  R[#32]；正四棱直线插补
```

N045　X[－#30－#3]　Y[#31＋#3]　R[#32];
N050　X[－#30－#3]　Y[－#31－#3]　R[#32];
N055　X[#30＋#3]　Y[－#31－#3]　R[#32];
N060　X[#30＋#3]　Y0; 回到圆弧切入点
N065　G02　X[#30＋#33＋#3]　Y[#33]　R[#33]　F[2 * #5]; 圆弧切线切出
N070　G01　X[#20＋#33]　Y0　F[3 * #9]; 返回起刀点
N075　#7＝#7＋#4; 步距轴向叠加#4
N080　#30＝#30－#4 * #10; 层 X 尺寸叠减
N085　#31＝#31－#4 * #10; 层 Y 尺寸叠减
N090　#32＝#33－#4 * #12; 圆角半径尺寸叠减
N095　ENDW; 返回循环体
N100　G00　G90　Z[#17＋50]; 刀具快速抬起离开工件
N105　M99; 宏程序结束并返回主程序

2. SINUMERIK 802D 数控系统对铣削正四棱锥台类零件侧面的用户 R 参数程序

R 参数含义:
R21＝U; U—正四棱锥台锥底的横向尺寸值
R22＝V; V—正四棱锥台锥底的纵向尺寸值
R4＝I; I—正四棱锥台锥顶的横向尺寸值
R5＝J; J—正四棱锥台锥顶的纵向尺寸值
R26＝Z; Z—正四棱锥台顶部的工件垂向绝对坐标值
R18＝R; R—刀具起始切削安全高度
R11＝H; H—正四棱锥台的高度(最终加工深度)
R6＝k_1; k_1—锥面斜率
R14＝k_2; k_2—圆角半径缩小率
R3＝C; C—锥底倒圆半径
R7＝D; D—刀具半径
R8＝E; E—Z 向递增(减)均值
R9＝F; F—切削进给速度
L52. SPF; R 参数子程序名
N005　R30＝R21/2; 正四棱锥台锥底的横向尺寸值的一半赋给中间变量 R30
　　R31＝R22/2; 正四棱锥台锥底的纵向尺寸值的一半赋给中间变量 R31
　　R32＝R3; 锥底倒圆半径赋给中间变量 R32
　　R33＝R7＋5; 切入(切出)圆弧半径
N010　G90　G00　X＝R21＋R33　Y0; 指令刀具移到工件右侧下刀点
N015　Z＝R18; 刀具快速下降到工件上方安全距离
N025　MARKE1:G01　Z＝R11　F＝3 * R9; 刀具以工进速度移动
N030　G01　X＝R30＋R33＋R7　Y＝ －R33　F＝2 * R9; 刀具直线插补到切入圆起点
N035　G02　X＝R30＋R7　Y0　CR＝R33　F＝R9; 圆弧切线切入
N040　G01　X＝R30＋R7　Y＝R31＋R7　RND＝R32; 正四棱直线插补

N045 X = -R30 - R7 Y = R31 + R7 RND = R32;
N050 X = -R30 - R7 Y = -R31 - R7 RND = R32;
N055 X = R30 + R7 Y = -R31 - R7 RND = R32;
N060 X = R30 + R7 Y0; 回到圆弧切入点
N065 G02 X = R30 + R33 + R7 Y = R33 CR = R33 F = 2 * R9; 圆弧切线切出
N070 G01 X = R21 + R31 Y0 F = 3R9; 返回刀具起刀点
N075 R11 = R11 + R8; 步距轴向叠加 R8
N080 R30 = R30 - R8 * R6; 层 X 尺寸叠减
N085 R31 = R31 - R8 * R6; 层 Y 尺寸叠减
N090 R32 = R33 - R8 * R14; 圆角半径尺寸叠减
N095 IF R11 < = R26 GOTOB MARKE1; 如果 R26 小于或等于 R11,则程序跳转至标志符 MARKE1
N100 G00 G90 Z = R18 + 50; 刀具快速抬起离开工件
N105 RET; R 参数子程序结束并返回主程序

3. FANUC 0i 数控系统对铣削正四棱锥台类零件侧面的用户宏程序

自变量含义:
#21 = U; U—正四棱锥台锥底的横向尺寸值
#22 = V; V—正四棱锥台锥底的纵向尺寸值
#4 = I; I—正四棱锥台锥顶的横向尺寸值
#5 = J; J—正四棱锥台锥顶的纵向尺寸值
#26 = Z; Z—正四棱锥台顶部的工件垂向绝对坐标值
#18 = R; R—刀具起始切削安全高度
#11 = H; H—正四棱锥台的高度
#6 = k_1; k_1—锥面斜率
#14 = k_2; k_2—圆角半径缩小率
#3 = C; C—锥底倒圆半径
#7 = D; D—刀具半径
#8 = E; E—Z 向递增(减)均值
#9 = F; F—切削进给速度
O52; 宏程序名
N005 #30 = #21/2; 正四棱锥台锥底的横向尺寸值的一半赋给中间变量#30
#31 = #22/2; 正四棱锥台锥底的纵向尺寸值的一半赋给中间变量#31
#32 = #3; 锥底倒圆半径赋给中间变量#32
#33 = #7 + 5; 切入(切出)圆弧半径
N010 G90 G00 X[#21 + #33] Y0; 指令刀具移到工件右侧下刀点
N015 Z#18; 刀具快速下降到工件上方安全距离
N020 WHILE [#11LE#26] DO1; 如果#11 大于#26,则跳转至 N100 程序段
N025 G01 Z#11 F[3 * #9]; 刀具以工进速度移动
N030 G01 X[#30 + #33 + #7] Y - #33 F[2 * #9]; 刀具直线插补到切入圆起点

```
N035  G02  X[#30 + #7]  Y0  R#33  F#9；圆弧切线切入
N040  G01  X[#30 + #7]  Y[#31 + #7]  R#32；正四棱直线插补
N045  X[ - #30 - #7]  Y[#31 + #7]  R#32；
N050  X[ - #30 - #7]  Y[ - #31 - #7]  R#32；
N055  X[#30 + #7]  Y[ - #31 - #7]  R#32；
N060  X[#30 + #7]  Y0；回到圆弧切入点
N065  G02  X[#30 + #33 + #7]  Y#33  R#33  F[2 * #9]；圆弧切线切出
N070  G01  X[#21 + #33]  Y0  F[3 * #9]；返回刀具起刀点
N075  #11 = #11 + #8；步距轴向叠加#8
N080  #30 = #30 - #8 * #6；层 X 尺寸叠减
N085  #31 = #31 - #8 * #6；层 Y 尺寸叠减
N090  #32 = #33 - #8 * #14；圆角半径尺寸叠减
N095  END1；返回循环体
N100  G00  G90  Z[#18 + 50]；刀具快速抬起离开工件
N105  M99；宏程序结束并返回主程序
```

注意：

1）切入圆弧半径必须大于或等于刀具半径值。

2）刀具半径值必须大于 0。

3）程序中没有使用刀具半径补偿指令 G41、G42、G40。

4. 编程举例

在铣床或加工中心上加工图 3-73 所示正四棱锥台零件的侧面。已知正四棱锥台零件锥底尺寸为 50mm × 50mm，圆弧半径为 5mm；锥台顶部尺寸为 25mm × 25mm，圆弧半径为 1mm；左右和前后斜面与垂直面的夹角相等，锥台高度为 10mm。

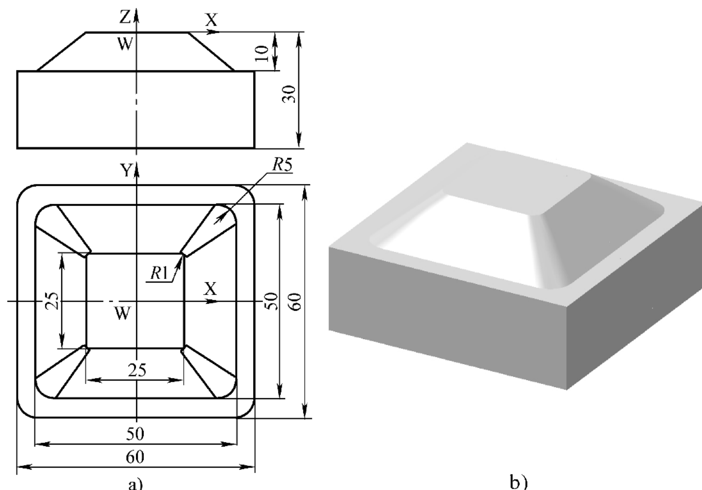


图 3-73　正四棱锥台零件侧面铣削编程实例示意图

a）尺寸图　b）效果图

解：

（1）工艺设计　建立工件坐标系，正四棱锥台中心为工件坐标系 X 和 Y 轴的零点，工

件表面为工件坐标系 Z 轴的零点，机床坐标系偏置值设置在 G54 寄存器中。

首先用 ϕ25mm 立铣刀铣削去除正四棱锥台周围余量，然后用 ϕ16mm 立铣刀采用顺铣方式铣削正四棱锥台侧面，采用由下而上轴向逐层上升的方法进行铣削，按锥面的轴向递减之比以顺铣方式加工。

锥面斜率为

$$k_1 = \tan\alpha = \frac{对边}{邻边} = \frac{I-J}{2} \times \frac{1}{H} = \frac{50-40}{20} = 0.5$$

锥台圆角半径的缩小率为

$$k_2 = \frac{R_1 - R_2}{H} \times \frac{5-1}{10} = 0.4$$

铣削刀具为 ϕ25mm 的立铣刀时，取主轴转速为 450r/min、铣削进给速度为 150mm/min；铣削刀具为 ϕ16mm 的立铣刀时，取主轴转速为 1200r/min、铣削进给速度为 350mm/min。主轴起始位置在零件上方 50mm 处，刀具起始切削高度为 2mm，最终加工位置为 Z－10mm。根据不同数控系统，运用变量引数赋值和参数直接赋值在主程序中呼出该宏程序的用户宏指令段为上述变量赋值。

（2）零件加工程序

1）HNC—21/22M 华中世纪星数控系统。

局部变量含义：

#20＝50；正四棱锥台锥底的横向尺寸值
#21＝50；正四棱锥台锥底的纵向尺寸值
#8＝25；正四棱锥台锥顶的横向尺寸值
#9＝25；正四棱锥台锥顶的纵向尺寸值
#25＝0；正四棱锥台顶部的工件垂向绝对坐标值
#17＝2；刀具起始切削安全高度
#7＝－10；正四棱锥台的高度
#10＝0.5；锥面斜率
#12＝0.4；锥台圆角半径缩小率
#2＝5；锥底倒圆半径
#3＝8；刀具半径
#4＝0.2；Z 向递增（减）均值
#5＝350；切削进给速度

O××××；文件名
%××××；程序号
N10　T01　M06　D01；调用 1 号刀具（ϕ25mm 立铣刀）
N15　G17　G90　G21　G94　G54　G40　G49　G80；工艺加工状态设置
N20　G43　G00　Z50.0　H01　S450　M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为 450r/min
N25　X80　Y0　M07；刀具快速移动到工件坐标零点，打开切削液
N30　M98　P51；调用铣削锥台周围余量子程序

N35　M06　T02　D02；调用2号刀（ϕ16mm立铣刀）
N40　G43　G00　Z50.0　H02　S1200　M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为1200r/min
N45　M98　P52　U50.0　V50.0　I25.0　J25.0　Z0.0　R2.0　H－10.0　K0.5　M0.4　C5.0　D8.0　E0.2　F350；调用铣削正四棱锥台零件侧面的宏子程序
N50　G00　Z100.0　M09；刀具退到工件上表面100mm处，切削液关闭
N55　G49；取消刀具长度补偿
N60　G00　X80　Y0　M05；刀具退回工件坐标零点，主轴停止
N65　M30；程序结束并返回程序开头
%51；去锥台周围余量子程序（略）
⋮
M99；子程序结束，返回主程序
%52；正四棱锥台类零件侧面宏子程序（见上）
⋮
M99；子程序结束，返回主程序

2）SINUMERIK 802D数控系统。

主程序如下：

FZG×××××；程序名
N05　R21＝50；正四棱锥台锥底的横向尺寸值
R22＝50；正四棱锥台锥底的纵向尺寸值
R4＝25；正四棱锥台锥顶的横向尺寸值
R5＝25；正四棱锥台锥顶的纵向尺寸值
R26＝0；正四棱锥台顶部的工件垂向绝对坐标值
R18＝2；刀具起始切削安全高度
R11＝－10；正四棱锥台的高度
R6＝0.5；锥面斜率
R14＝0.4；锥台圆角半径缩小率
R3＝5；锥底倒圆半径
R7＝8；刀具半径
R4＝0.2；Z向递增（减）均值
R9＝350；切削进给速度
N10　T01　M06　D01；调用1号刀具（ϕ25mm立铣刀）
N15　G17　G90　G71　G94　G54　G40；工艺加工状态设置
N20　G00　Z50.0　S450　M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为450r/min
N25　X80　Y0　M07；刀具快速移动到工件坐标零点，打开切削液
N30　L51；调用铣削正四棱锥台周围余量子程序
N35　M06　T02　D02；调用2号刀（ϕ16mm立铣刀）
N40　G43　G00　Z50.0　H02　S1200　M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为1200r/min

N50 L52；调用铣削正四棱锥台零件侧面的 R 参数子程序
N55 G00 Z100.0 M09；刀具退到工件上表面 100mm 处，切削液关闭
N60 D00；取消刀具长度补偿
N65 G00 X0 Y0 M05；刀具退回工件坐标零点，主轴停止
N70 M02；程序结束并返回程序开头
L51.SPF；去锥台周围余量子程序（略）
⋮
RET；子程序结束，返回主程序
L52.SPF；正四棱锥台类零件侧面 R 参数子程序（见上）
⋮
RET；R 参数子程序结束，返回主程序

3）FANUC 0i 数控系统。

自变量含义：

#21 = 50；正四棱锥台锥底的横向尺寸值
#22 = 50；正四棱锥台锥底的纵向尺寸值
#4 = 25；正四棱锥台锥顶的横向尺寸值
#5 = 25；正四棱锥台锥顶的纵向尺寸值
#26 = 0；正四棱锥台顶部的工件垂向绝对坐标值
#18 = 2；刀具起始切削安全高度
#11 = -10；正四棱锥台的高度
#6 = 0.5；锥面斜率
#14 = 0.4；锥台圆角半径缩小率
#3 = 5；锥底倒圆半径
#7 = 8；刀具半径
#8 = 0.2；Z 向递增（减）均值
#9 = 350；切削进给速度

主程序如下：

O××××；程序名
N10 T01 M06 D01；调用 1 号刀具（ϕ25mm 立铣刀）
N15 G17 G90 G21 G94 G54 G40 G49 G80；工艺加工状态设置
N20 G43 G00 Z50.0 H01 S450 M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为 450r/min
N25 X80 Y0 M07；刀具快速移动到工件坐标零点，打开切削液
N30 G65 P51；调用铣削锥台周围余量子程序
N35 M06 T02 D02；调用 2 号刀（ϕ16mm 立铣刀）
N40 G43 G00 Z50.0 H02 S1200 M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为 1200r/min
N45 G65 P52 U50.0 V50.0 I25.0 J25.0 Z0.0 R2.0 H-10.0 K0.5 M0.4 C5.0 D8.0 E0.2 F350；调用铣削正四棱锥台零件侧面的宏子程序

N50　G00　Z100.0　M09；刀具退到工件上表面 100mm 处，切削液关闭
N55　G49；取消刀具长度补偿
N60　G00　X80　Y0　M05；刀具退回工件坐标零点，主轴停止
N65　M30；程序结束并返回程序开头
O51；去锥台周围余量子程序（略）
⋮
M99；子程序结束，返回主程序
O52；正四棱锥台类零件侧面宏子程序（见上）
⋮
M99；子程序结束，返回主程序

说明：通过改变刀具半径来对零件进行粗、精加工。

3.3.5.3　正多棱锥台类零件侧面铣削宏程序编程

编制一个铣削加工图 3-74 所示正多棱锥台类零件侧面的通用程序。假设正多棱锥台零件锥顶外接圆直径为 I，锥底外接圆直径为 J，正多棱边数为 T，T 边形的边长为 a，中心角为 B，所有斜面与垂直面的夹角相等，锥台高度为 H。

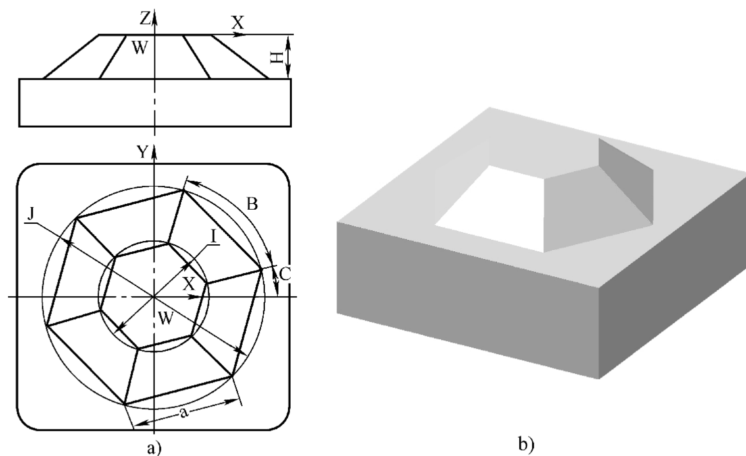


图 3-74　正多棱锥台类零件侧面铣削示意图
a）零件图　b）效果图

工艺分析：加工此类零件曲面，采用由下而上轴向逐层上升的方法进行铣削，通过锥面的轴向递减，采用不对称顺铣方式加工。在垂直轴上以 Z 分段，以 0.1 ~0.5mm 为一个步距，并把 Z 值作为自变量。利用旋转坐标指令方式铣削各棱边，并以中心角 B 作为自变量。为了适应不同的正多棱锥台（即不同的斜率）、不同的大小和不同的步距，下面编制一个只用变量、不用具体数值的宏程序，然后在主程序中呼出该宏程序的用户宏指令段为上述变量赋值。这样，对于不同大小的正多棱锥台和不同的步距，不必更改宏程序，而只需修改主程序中用户宏指令段内的赋值数据就可以了。注意：为了保证正多棱锥台曲面的精度，以中心角 B 的变化为循环条件判断，铣削棱台的各条周边；以上下移动的轴向值为循环条件的判断，使每循环一次的 Z 值变化为均值来铣削锥台。

由图 3-74 可知锥面斜率为

$$k = \tan\alpha = \frac{锥底外接圆半径 - 锥顶外接圆半径}{锥台高} = \frac{J - I}{2} \times \frac{1}{H}$$

$$边长\ a = 2RSIN\left(\frac{180°}{T}\right)$$

$$中心角\ B = \frac{360°}{T}$$

由以上工艺分析，可画出图 3-75 所示该宏程序的结构流程框图。

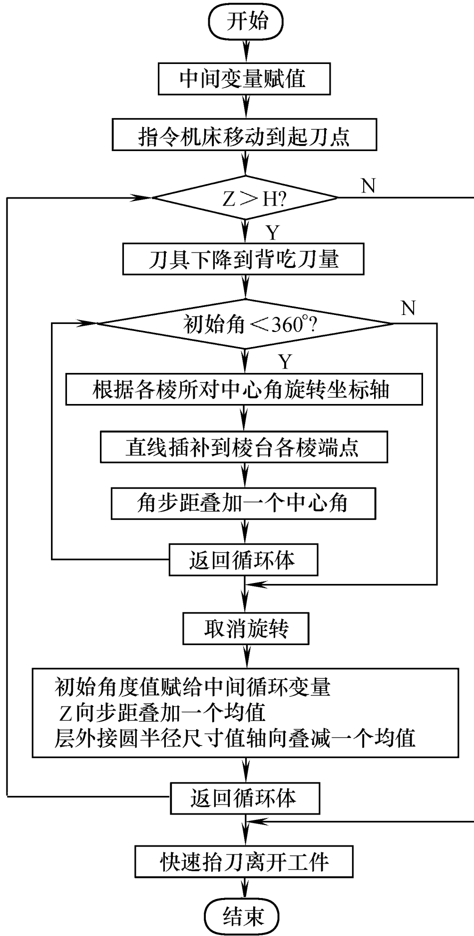


图 3-75 正多棱锥台类零件侧面铣削的用户宏程序结构流程框图

1. HNC—21/22M 华中世纪星数控系统对铣削正多棱锥台类零件侧面的用户宏程序

局部变量含义：

#23 = X_0；X_0—正多棱锥台中心的工件横向绝对坐标值

#24 = Y_0；Y_0—正多棱锥台中心的工件纵向绝对坐标值

#19 = T；T—正多棱锥台斜面数

#8 = I；I—正多棱锥台锥顶的外接圆直径尺寸值

#9 = J；J—正多棱锥台锥底的外接圆直径尺寸值

#25 = Z；Z—正多棱锥台顶部的工件垂向绝对坐标值
#17 = R　；R—刀具起始切削安全高度
#7 = H　；H—正多棱锥台的高度（最终加工深度）
#4 = E　；E—Z 向递增（减）均值
#10 = k　；k—锥面斜率（k = ABS（#9 - #8）/（2 * #7））
#1 = B　；B—正多棱锥台的中心角度值（B = 360°/T）
#2 = C　；C—正多棱锥台第一条棱与 X 轴的初始角度值
#3 = D　；D—刀具半径
#5 = F　；F—切削进给速度

%53；宏程序号
N005　#30 = #9/2 + #3；正多棱锥台锥底刀具中心轨迹外接圆半径
　　#31 = #2；第一条棱与 X 轴的初始角度值赋给中间变量#31
　　#32 = #1；正多棱锥台中心角度值赋给变量#32
　　#33 = 2 * #9 * sin［PI/#19］；多边形的边长
N010　G90　G00　X［#9］　Y0；指令刀具移到工件右侧下刀点
N015　Z［#17］；刀具快速下降到工件上方安全距离
N020　WHILE#7LE#25；如果#7 大于#25，则跳转至 N080 程序段
N025　G01　Z［#7］　F［3 * #5］；刀具以工进速度移动
N030　WHILE#31LE［360 + #2］；如果#31 大于（360 + #2），则跳转至 N055 程序段
N035　G68　X［#23］　Y［#24］　P［#31］；以正多棱锥台中心（#24，#25）为旋转中心，#31 为旋转角度建立新的工件坐标系
N040　G01　X［#30］　Y0　F［#5］；直线插补到新建坐标系的 X/Y 坐标点上（#30，0）
N045　#31 = #31 + #1；角步距叠加一个中心角#1
N050　ENDW；返回循环体（N030 程序段）
N055　G69；取消工件坐标系旋转
N060　#31 = #2；第一条棱与 X 轴的初始角度值赋给中间变量#31
N065　#7 = #7 + #4；步距 Z 向叠加#4
N070　#30 = #30 - #4 * #10；多棱台外接圆半径径向叠减一个均值
N075　ENDW；返回循环体
N080　G00　G90　X［#9］　Y0；刀具离开工件
N085　Z［#17 + 50］；刀具快速抬起离开工件
N090　M99；宏程序结束并返回主程序

2. SINUMERIK 802D 数控系统对铣削正多棱锥台类零件侧面的用户 R 参数程序

R 参数含义：
R24 = X_0　；X_0—正多棱锥台中心的工件横向绝对坐标值
R25 = Y_0　；Y_0—正多棱锥台中心的工件纵向绝对坐标值
R20 = T　；T—正多棱锥台边数

R4 = I ；I—正多棱锥台锥顶的外接圆直径尺寸值
R5 = J ；J—正多棱锥台锥底的外接圆直径尺寸值
R26 = Z ；Z—正多棱锥台顶部的工件垂向绝对坐标值
R18 = R ；R—刀具起始切削安全高度
R11 = H ；H—正多棱锥台的高度（最终加工深度）
R8 = E ；Z 向递增（减）均值
R6 = k ；k—锥面斜率（k = ABS（R9 - R8）/（2 * R7））
R2 = B ；B—正多棱锥台的中心角度值（B = 360°/T）
R3 = C ；C—正多棱锥台第一条棱与 X 轴的初始角度值
R7 = D ；D—刀具半径
R9 = F ；F—切削进给速度
L53；R 参数程序名
N005 R30 = R5/2 + R7；正多棱锥台锥底刀具中心轨迹外接圆半径
R31 = R3；第一条棱与 X 轴的初始角度值赋给中间变量 R31
R32 = R2；正多棱锥台中心角度值赋给变量#32
R33 = 2 * R5 * sin［180/R20］；多边形的边长
N010 G90 G00 X = R5 Y0；指令刀具移到工件右侧下刀点
N015 Z = R18；刀具快速下降到工件上方安全距离
N020 MARKE1：G01 Z = R11 F = ［3 * R9］；刀具以工进速度移动
N025 MARKE2：ROT X = R24 Y = R25 RPL = R31；以正多棱锥台中心（R24，R25）为旋转中心，R31 为旋转角度建立新的工件坐标系
N030 G01 X = R30 Y0 F = R9；直线插补到新建坐标系的 X/Y 坐标点上（R30，0）
N035 R31 = R31 + R2 ；角步距叠加一个中心角 R2
N040 IF R31 < = 360 + R3 GOTO MARKE2；如果 R31 小于或等于 360 + R3，则跳转至 MARKE2
N045 ROT；取消工件坐标系旋转
N050 R11 = R11 + R8；步距 Z 向叠加 R8
N055 R30 = R30 - R8 * R6；多棱台外接圆半径径向叠减一个均值
N060 R31 = R3；第一条棱与 X 轴的初始角度值赋给中间变量 R31
N065 IF R11 < = R26 GOTOB MARKE1；如果 R11 小于或等于 R25，则跳转至 MARKE1
N070 G00 G90 X = R5 Y0；刀具离开工件
N075 Z = R18 + 50；刀具快速抬起离开工件
N080 RET；R 参数子程序结束并返回主程序

3. FANUC 0i 数控系统对铣削正多棱锥台类零件侧面的用户宏程序

自变量含义：

#24 = X_0 ；X_0—正多棱锥台中心的工件横向绝对坐标值
#25 = Y_0 ；Y_0—正多棱锥台中心的工件纵向绝对坐标值

```
#26 = Z  ; Z—正多棱锥台顶部的工件垂向绝对坐标值
#20 = T  ; T—正多棱锥台边数
#18 = R  ; R—刀具起始切削安全高度
#4 = I   ; I—正多棱锥台锥顶的外接圆直径尺寸值
#5 = J   ; J—正多棱锥台锥底的外接圆直径尺寸值
#11 = H  ; H—正多棱锥台的高度（最终加工深度）
#8 = E   ; E—Z 向递增（减）均值
#6 = k   ; k—锥面斜率（k = ABS（#9 - #8）/（2 * #7））
#2 = B   ; B—正多棱锥台的中心角度值（B = 360°/T）
#3 = C   ; C—正多棱锥台第一条棱与 X 轴的初始角度值
#7 = D   ; D—刀具半径
#9 = F   ; F—切削进给速度
O53；宏程序名
N005  #30 = #5/2 + #7；正多棱锥台锥底刀具中心轨迹外接圆半径
      #31 = #3；第一条棱与 X 轴的初始角度值赋给中间变量#31
      #32 = #2；正多棱锥台中心角度赋给变量#32
      #33 = 2 * #5 * SIN [180/#20]；多边形的边长
N010  G90  G00  X#5  Y0；指令刀具移到工件右侧下刀点
N015  Z#18；刀具快速下降到工件上方安全距离
N020  WHILE [#11LE#26]  DO1；如果#11 大于#25；则跳转至 N080 程序段
N025  G01  Z#11  F [3 * #9]；刀具以工进速度移动
N030  WHILE [#31LE [360 + #3]]  DO2；如果#31 大于 360 + #3，则跳转至 N055 程序段
N035  G68  X#24  Y#25  P#31；以正多棱锥台中心（#24，#25）为旋转中心，#31 为旋转角度建立新的工件坐标系
N040  G01  X#30  Y0  F#9；直线插补到新建坐标系的 X/Y 坐标点上（#30，0）
N045  #31 = #31 + #2；角步距叠加一个中心角#2
N050  END2；返回循环体
N055  G69；取消工件坐标系旋转
N060  #11 = #11 + #8；步距 Z 向叠加#8
N065  #30 = #30 - #8 * #6；多棱台外接圆半径径向叠减一个均值
N070  #31 = #3；第一条棱与 X 轴的初始角度值赋给中间变量#31
N075  END1；返回循环体
N080  G00  G90  X#5  Y0 ；刀具离开工件
N085  Z [#18 + 50]；刀具快速抬起离开工件
N090  M99；宏程序结束并返回主程序
```

注意：程序中未使用刀具半径补偿指令 G41、G42、G40。

4. 编程举例

在铣床或加工中心上加工图 3-76 所示正六棱锥台零件的侧面。已知正六棱锥台零件锥

顶外接圆直径为 37.5mm，锥底外接圆直径为 75mm，锥台高度为 10mm，棱边数为 6，中心角度为 60°，棱台的一条棱与 X 轴的夹角为 15°。

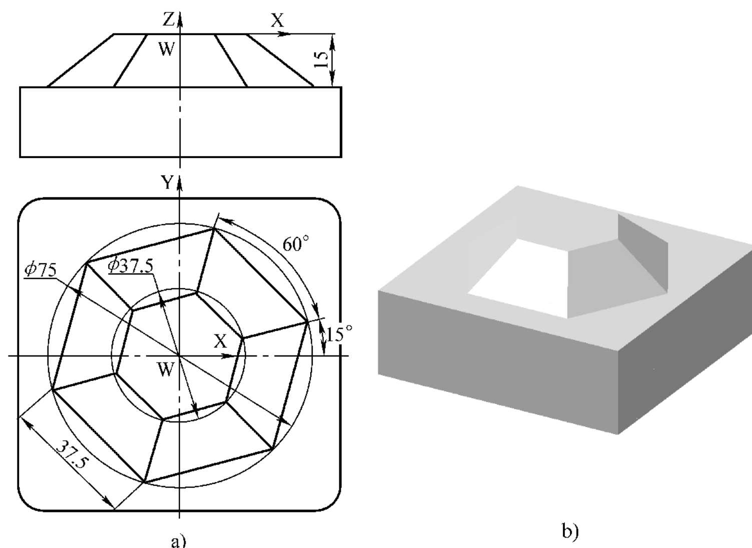


图 3-76 正六棱锥台侧面铣削编程实例零件示意图
a）尺寸图 b）效果图

解：

（1）工艺设计 建立工件坐标系，正六棱锥台中心为工件坐标系 X 和 Y 轴的零点，工件表面为工件坐标系 Z 轴的零点，机床坐标系偏置值设置在 G54 寄存器中。

首先用 ϕ25mm 立铣刀铣削粗加工 ϕ75mm 外圆，以去除正六棱锥台周围余量，然后用 ϕ16mm 立铣刀采用不对称顺铣方式铣削正六棱锥台侧面，采用由下而上轴向逐层上升的方法进行铣削，通过锥面的轴向递减，采用不对称顺铣方式加工。各棱边利用旋转坐标轴方式铣削，并以中心角 B 作为自变量。

锥面斜率为

$$k=\tan\alpha=\frac{\text{锥底外接圆半径}-\text{锥顶外接圆半径}}{\text{锥台高}}=\frac{75-37.5}{2}\times\frac{1}{15}=1.25$$

铣削刀具为 ϕ25mm 的立铣刀时，取主轴转速为 450r/min、铣削进给速度为 150mm/min；铣削刀具为 ϕ16mm 的立铣刀时，取主轴转速为 1200r/min、铣削进给速度为 350mm/min。主轴起始位置在零件上方 50mm 处，刀具起始切削高度为 2mm，最终加工位置为 Z－15.0mm。根据不同数控系统，运用变量引数赋值和参数直接赋值，在主程序中呼出该宏程序的用户宏指令段为上述变量赋值。

（2）零件加工程序

1）HNC—21/22M 华中世纪星数控系统。

局部变量含义：

#23＝0 ；正多棱锥台中心的工件横向绝对坐标值

#24＝0 ；正多棱锥台中心的工件纵向绝对坐标值

#19 = 6　　；正多棱锥台斜面数
#8 = 37.5　；正多棱锥台锥顶的外接圆直径尺寸值
#9 = 75　　；正多棱锥台锥底的外接圆直径尺寸值
#25 = 0　　；正多棱锥台顶部的工件垂向绝对坐标值
#17 = 2　　；刀具起始切削安全高度
#7 = -15　；正多棱锥台的高度（最终加工深度）
#4 = 0.2　；Z 向递增（减）均值
#10 = 1.25；锥面斜率
#1 = 60　　；正多棱锥台的中心角度值
#2 = 15　　；正多棱锥台第一条棱与 X 轴的初始角度值
#3 = 8　　；刀具半径
#5 = 350　；切削进给速度
O××××；文件名
%××××；程序号
N10　T01　M06　D01；调用 1 号刀具（ϕ25mm 立铣刀）
N15　G17　G90　G21　G94　G54　G40　G49　G80；工艺加工状态设置
N20　G43　G00　Z50.0　H01　S450　M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为 450r/min
N25　X80　Y0　M07；刀具快速移动到工件坐标零点，打开切削液
N30　M98　P50；调用铣削正六棱锥台周围余量子程序
N35　M06　T02　D02；调用 2 号刀（ϕ16mm 立铣刀）
N40　G43　G00　Z50.0　H02　S1200　M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为 1200r/min
N45　M98　P53　X0　Y0　Z0　T6　I37.5　J75　R2.0　H-15　E0.2　K1.25　B66　C15　D8　F350；调用铣削正多棱锥台零件侧面的宏子程序
N50　G00　Z100.0　M09；刀具退到工件上表面 100mm 处，切削液关闭
N55　G49；取消刀具长度补偿
N60　G00　X80　Y0　M05；刀具退回工件坐标零点，主轴停止
N65　M30；程序结束并返回程序开头
%50；去锥台周围余量子程序（略）
⋮
M99；子程序结束，返回主程序
%53；正多棱锥台类零件侧面宏子程序（见上）
⋮
M99；子程序结束，返回主程序

2）SINUMERIK 802D 数控系统。

主程序如下：

FZG×××××；程序名
N05　R24 = 0　　；正多棱锥台中心的工件横向绝对坐标值

```
    R25 = 0      ；正多棱锥台中心的工件纵向绝对坐标值
    R20 = 6      ；正多棱锥台边数
    R4 = 37.5    ；正多棱锥台锥顶的外接圆直径尺寸值
    R5 = 75      ；正多棱锥台锥底的外接圆直径尺寸值
    R26 = 0      ；正多棱锥台顶部的工件垂向绝对坐标值
    R18 = 2      ；刀具起始切削安全高度
    R11 = -11    ；正多棱锥台的高度（最终加工深度）
    R8 = 0.2     ；Z 向递增（减）均值
    R6 = 1.25    ；锥面斜率（k = ABS（R9 - R8）/（2 * R7））
    R2 = 60      ；正多棱锥台的中心角度值（B = 360°/T）
    R3 = 15      ；正多棱锥台第一条棱与 X 轴的初始角度值
    R7 = 8       ；刀具半径
    R9 = 350     ；切削进给速度
N10  T01  M06  D01；调用 1 号刀具（φ25mm 立铣刀）
N15  G17  G90  G71  G94  G54  G40；工艺加工状态设置
N20  G00  Z50.0  S450  M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为 450r/min
N25  X80  Y0  M07；刀具快速移动到工件坐标零点，打开切削液
N30  L50；调用铣削正多棱锥台周围余量子程序
N35  M06  T02  D02；调用 2 号刀（φ16mm 立铣刀）
N40  G00  Z50.0  S1200  M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为 1200r/min
N50  L53；调用铣削正多棱锥台零件侧面的 R 参数子程序
N55  G00  Z100.0  M09；刀具退到工件上表面 100mm 处，切削液关闭
N60  D00；取消刀具长度补偿
N65  G00  X0  Y0  M05；刀具退回工件坐标零点，主轴停止
N70  M02；程序结束并返回程序开头
L50；去锥台周围余量子程序（略）
⋮
RET；子程序结束，返回主程序
L53；正多棱锥台类零件侧面 R 参数子程序（见上）
⋮
RET；R 参数子程序结束，返回主程序
```

3）FANUC 0i 数控系统。

自变量含义：

```
#24 = 0      ；正多棱锥台中心的工件横向绝对坐标值
#25 = 0      ；正多棱锥台中心的工件纵向绝对坐标值
#20 = 6.0    ；正多棱锥台边数
#4 = 37.5    ；正多棱锥台锥底的外接圆直径尺寸值
#5 = 75      ；正多棱锥台锥底的外接圆直径尺寸值
#26 = 0      ；正多棱锥台顶部的工件垂向绝对坐标值
```

```
#18 =2.0       ；刀具起始切削安全高度
#11 = -11.0    ；正多棱锥台的高度
#8 =0.2        ；Z 向递增（减）均值
#6 =1.25       ；锥面斜率
#2 =60.0       ；正多棱锥台的中心角度值（B =360°/T）
#3 =15.0       ；正多棱锥台第一条棱与 X 轴的初始角度值
#7 =8.0        ；刀具半径
#9 =350        ；切削进给速度
```

主程序如下：

```
O××××；程序名
N10  T01  M06  D01；调用 1 号刀具（φ25mm 立铣刀）
N15  G17  G90  G21  G94  G54  G40  G49  G80；工艺加工状态设置
N20  G43  G00  Z50.0  H01  S450  M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为
                                     450r/min
N25  X80  Y0  M07；刀具快速移动到工件坐标零点，打开切削液
N30  G65  P50；调用铣削锥台周围余量子程序
N35  M06  T02  D02；调用 2 号刀（φ16mm 立铣刀）
N40  G43  G00  Z50.0  H02  S1200  M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为
                                      1200r/min
N45  G65  P53  X0  Y0  Z0  T6.0  I37.5  J75.0  R2.0  H-15.0  E0.2  K1.25
B60  C15  D8.0  F350；调用铣削正多棱锥台零件侧面的宏子程序
N50  G00  Z100.0  M09；刀具退到工件上表面 100mm 处，切削液关闭
N55  G49；取消刀具长度补偿
N60  G00  X80  Y0  M05；刀具退回工件坐标零点，主轴停止
N65  M30；程序结束并返回程序开头
O50；去锥台周围余量子程序（略）
⋮
M99；子程序结束，返回主程序
O53；正多棱锥台类零件侧面宏子程序（见上）
⋮
M99；子程序结束，返回主程序
```

说明：通过改变刀具半径对零件进行粗、精加工。

3.3.6　锥槽类零件侧面铣削宏程序编程实例

3.3.6.1　圆锥槽侧面铣削宏程序编程

编制一个铣削加工图 3-77 所示圆锥槽类零件的通用程序。假设工件圆弧中心的绝对横坐标值为 X_0、绝对纵坐标值为 Y_0，H 为圆锥顶部 Z 轴绝对坐标值，圆锥顶部圆弧半径为 I，圆锥槽最终加工深度为 Z，刀具在工件上方切削安全距离为 R，Z 轴每次下降背吃刀量为 Q，

圆锥槽的锥度为 A，精加工余量为 K，D 为刀具半径，C 为螺旋线切削圆半径，F 为切削进给速度。

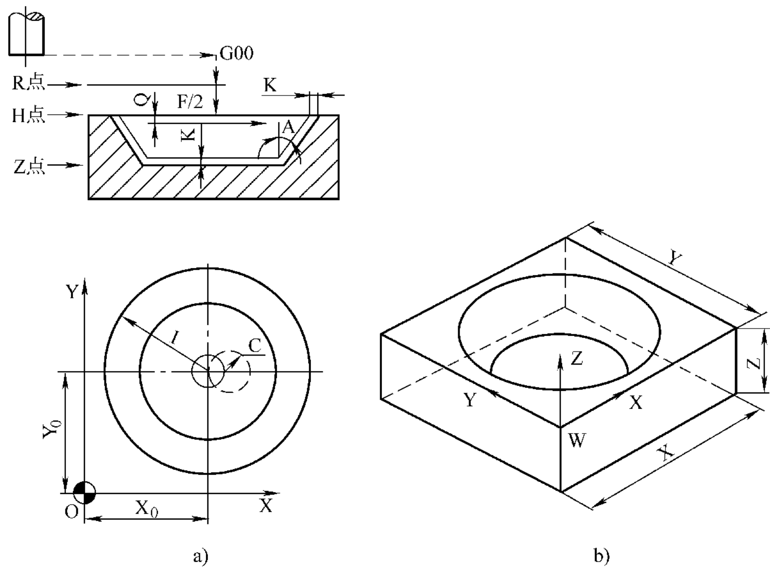


图 3-77 圆锥槽类零件铣削刀具路线示意图

a）零件图 b）效果图

由图 3-77 示分析，可画出该宏程序的结构流程框图，如图 3-78 所示。

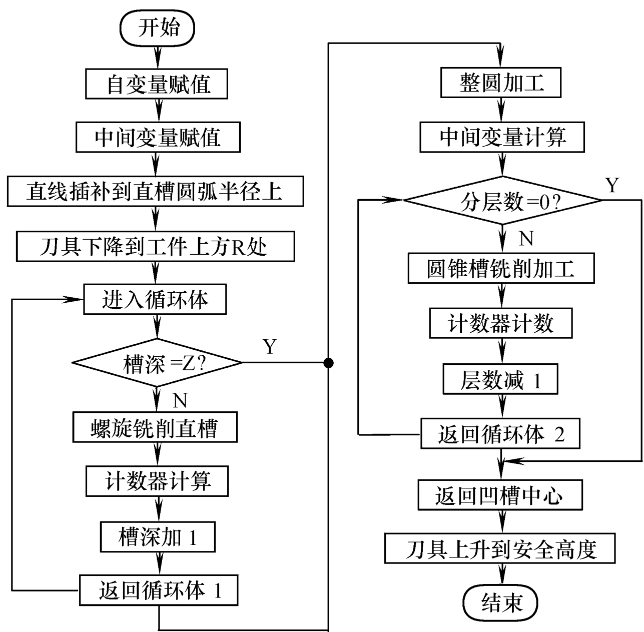


图 3-78 圆锥槽侧面铣削加工的用户宏程序结构流程框图

说明：加工顺序为螺旋铣削粗加工圆弧直槽、精加工槽底部、精加工圆锥槽侧面。

1. HNC—21/22M 华中世纪星数控系统对铣削圆锥槽类零件侧面的用户宏程序

局部变量含义：

#23 = X_0；　X_0—圆锥槽圆弧中心的 X 绝对坐标值
#24 = Y_0；　Y_0—圆锥槽圆弧中心的 Y 绝对坐标值
#25 = Z；　Z—圆锥槽最终加工深度
#17 = R；　R—刀具起始切削安全高度
#16 = Q；　Q—Z 轴每次降层深度
#7 = H；　H—圆锥顶部 Z 轴绝对坐标值
#8 = I；　I—圆锥槽的顶圆弧半径
#10 = K；　K—精加工余量
#0 = A；　A—圆锥槽的锥角
#2 = C；　C—螺旋线切削圆半径
#3 = D；　D—刀具半径
#4 = E；　E—有效刀具直径百分比
#5 = F；　F—切削进给速度

```
%3361；宏程序号
N005  #27 = 2 * #3 * #4；切削宽度（2DE）
      #28 = #8 - [#7 - #25] * TAN [#0] - #3 - #10
            ；凹圆直槽粗加工刀具中心轨迹半径（I -（H - Z）TAN（A）- D - K）
      #29 = #7 - #25；圆锥槽高 H - Z
      #30 = #28/#27；凹圆直槽 XY 平面内分层切削次数
      #31 = #29/#16；垂直平面内分层切削次数
      #30 = INT [#30]；取整（宽度分层切削数取整）
      #31 = INT [#31]；取整（深度分层切削数取整）
N010  G90  G00  X [#23 + #2]  Y [#24]；指令刀具移到工件圆弧切入点
N015  Z [#17]；刀具快速下降到工件上方安全距离
N020  G01  Z [#17 - #10]  F [#5/2]；刀具以工进速度下降
N025  #100 = 1；深度计数器置初始值
N030  WHILE #100LT#31；如果#100 大于或等于#31，则程序跳转到 N085 程序段
N035  G91  G02  I [ - #2]  Z [ - #16]  F [#5/4]；螺旋线进给切入
N040  #101 = 1；宽度计数器置初始值
N045  WHILE #101LE#30；如果#101 大于#30，则程序跳转到 N070 程序段
N050  G90  G01  X [#23 + #27 * #101]  Y [#24]  F [#5]；直线插补到粗加工圆
                                                      弧直槽上
N055  G02  I [ - #27 * #101]  J0；整圆插补加工
N060  #101 = #101 + 1；宽度计数器加 1
N065  ENDW；返回循环体
N070  #100 = #100 + 1；深度计数器加 1
N075  G90  G00  X [#23 + #2]  Y [#24]；退回圆锥槽切入点
```

```
N080  ENDW；返回循环体
N085  G90  G02  I［-#2］  Z［-#29］  F［#5/4］；螺旋线进给切入到圆锥槽最终加工深度
N090  #101=1；宽度计数器置初始值
N095  WHILE #101LE#30；如果#101 大于#30，则程序跳转到 N120 程序段
N100  G90  G01  X［#23+#27*#101］  Y［#24］  F［#5］；直线插补到粗加工圆弧直槽上
N105  G02  I［-#27*#101］  J0；整圆插补加工
N110  #101=#101+1；宽度计数器加 1
N115  ENDW；返回循环体
N120  #102=［#7-#25］*TAN［#0*PI/180］/#10；圆锥槽切削宽度分层次数计算（H-Z）TAN（A）/K
N125  #103=［#7-#25］/#102；圆锥槽背吃刀量分层量计算
N130  #104=#103；将#103 赋给中间变量#104
N135  #104=INT［#104］；分层数取整
N140  #100=1；宽度计数器置初始值
N145  WHILE #100LE#104；如果#100 大于#104，则程序跳转到 N190 程序段
N150  G90  G01  X［#23+#28+#100*#10-#2］  Y［#24+#2］；直线插补到切入圆起点
N155  G02  X［#23+#28+#100*#10］  Y［#24］  R［#2］；以半径等于#2 的 1/4 圆弧切入
N160  G02  I-［#28+#100*#10］  J0；进行整圆插补加工
N165  G02  X［#23+#28+#100*#10-#2］  Y［#24-#2］  R［#2］；以半径等于#2 的 1/4 圆弧切出
N170  G01  Y［#24］；退回到 X 轴上
N175  G91 G01 Z［#103］；垂向上升#103
N180  #100=#100+1；计数器加 1
N185  ENDW；返回循环体
N190  G90 G00 X［#23］Y［#24］；回到锥槽中心
N195  Z［#17+50］；刀具快速抬起离开工件
N200  M99；宏程序结束并返回主程序
```

2. SINUMERIK 802D 数控系统对铣削圆锥槽类零件侧面的用户 R 参数程序

R 参数含义：

R24 = X_0；　X_0—工件圆弧中心的 X 绝对坐标值

R25 = Y_0；　Y_0—工件圆弧中心的 Y 绝对坐标值

R26 = Z；　Z—圆锥槽最终加工深度

R18 = R；　R—刀具起始切削安全高度

R17 = Q；　Q—Z 轴每次降层深度

R11 = H；　H—圆锥顶部 Z 轴绝对坐标值

```
R4 = I;        I—圆锥槽的顶圆弧半径
R6 = K;        K—精加工余量
R7 = D;        D—刀具半径
R8 = E;        E—有效刀具直径百分比
R1 = A;        A—圆锥槽的锥角
R9 = F;        F—切削进给速度
R3 = C;        C—螺旋线切削圆半径
L3361; R 参数程序名
N005  R27 = 2 * R7 * R8; 切削宽度 (2DE)
        R28 = R4 - [R11 - R26] * TAN [R1] - R7 - R6
          ; 凹圆直槽粗加工刀具中心轨迹半径 (I - (H - Z) TAN (A) - D - K)
        R29 = R11 - R26; 圆锥槽高 (H - Z)
        R30 = R28/R27; 凹圆直槽 XY 平面内分层切削次数
        R31 = R29/R17; 垂直平面内分层切削次数
        R30 = TRUN [R30]; 上取整 (宽度分层切削数取整)
        R31 = TRUN [R31]; 上取整 (深度分层切削数取整)
N010  G90  G00  X = R24 + R3  Y = R25; 指令刀具移到工件圆弧切入点
N015  Z = R18; 刀具快速下降到工件上方安全距离
N020  G01  Z = R11 + R6  F = R9/2; 刀具以工进速度下降
N025  R100 = 1; 深度计数器置初始值
N030  MARKE1: G91  G02  I = - R3  Z = - R17  F = R9/4; 螺旋线进给切入
N035  R101 = 1; 宽度计数器置初始值
N040  MARKE2: G90  G01  X = R24 + R27 * R101  Y = R25  F = R9; 直线插补到粗加
                                                      工圆弧直槽上
N045  G02  I = - R27 * R101  J0; 整圆插补加工
N050  R101 = R101 + 1; 宽度计数器加 1
N055  IF R101 < = R30 GOTOB MARKE2; 如果 R101 小于或等于 R30 时, 则程序跳转到
                                    MARKE2 程序段
N060  R100 = R100 + 1; 深度计数器加 1
N065  G90  G01  X = R24 + R3  Y = R25; 退回圆锥槽切入点
N070  IF R100 < = R31 GOTOB MARKE1; 如果 R100 小于或等于 R31 时, 则程序跳转到
                                    MARKE1 程序段
N075  G90  G02  I = - R3  Z = - R29  F = R9/4; 螺旋线进给切入到圆锥槽最终加工
                                              深度
N080  R101 = 1; 宽度计数器置初始值
N085  MARKE3: G90  G01  X = R24 + R27 * R101  Y = R25  F = R9; 直线插补到粗加
                                                      工圆弧直槽上
N090  G02  I = - R27 * R101  J0; 整圆插补加工
N095  R101 = R101 + 1; 宽度计数器加 1
```

N100 IF R101 < =R30 GOTOB MARKE3；如果 R101 小于或等于 R30 时，则程序跳转到 MARKE3 程序段
N105 R102 = ［R11 - R26］ * TAN ［R1］ /R6；圆锥槽切削宽度分层次数计算 （H - Z） TAN （A） /K
N110 R103 = ［R11 - R26］ /R102；圆锥槽背吃刀量分层量计算
N115 R104 = R103；将 R103 赋给中间变量 R104
N120 R104 = TRUNC ［R104］；取整
N125 R100 = 1；宽度计数器置初始值
N130 MARKE4：G90 G01 X = R24 + R28 + R100 * R6 - R3 Y = R25 + R3；直线插补到切入圆起点
N135 G02 X = R24 + R28 + R100 * R6 Y = R25 CR = R3；以半径等于 R3 的 1/4 圆弧切入
N140 G02 I = - （R28 + R100 * R6） J0；进行整圆插补加工
N145 G02 X = R24 + R28 + R100 * R6 - R3 Y = R25 - R3 CR = R3；以半径等于 R3 的 1/4 圆弧切出
N150 G01 Y = R25；退回到 X 轴上
N155 G91 G01 Z = R103；垂向上升 R103
N160 R100 = R100 + 1；计数器加 1
N165 IF R100 < = R104 MARKE4；如果 R100 小于或等于 R104 时，则程序跳转到 MARKE4 程序段
N170 G90 G00 X = R24 Y = R25；回到锥槽中心
N175 Z = R18 + 50；刀具快速抬起离开工件
N180 RET；R 参数子程序结束并返回主程序

3. FANUC 0i 数控系统对铣削圆锥槽类零件侧面的用户宏程序

自变量含义：

#24 = X_0； X_0—工件圆弧中心的 X 绝对坐标值
#25 = Y_0； Y_0—工件圆弧中心的 Y 绝对坐标值
#26 = Z； Z—圆锥槽最终加工深度
#18 = R； R—刀具起始切削安全高度
#17 = Q； Q—Z 轴每次降层深度
#11 = H； H—圆锥顶部 Z 轴绝对坐标值
#4 = I； I—圆锥槽的顶圆弧半径
#6 = K； K—精加工余量
#7 = D； D—刀具半径
#8 = E； E—有效刀具直径百分比
#1 = A； A—圆锥槽的锥角
#9 = F； F—切削进给速度
#3 = C； C—螺旋线切削圆半径
O3361；宏程序名

```
N005  #27 = 2 * #7 * #8；切削宽度（2DE）
      #28 = #4 - [#11 - #26] * TAN[#1] - #7 - #6
                    ；凹圆直槽粗加工刀具中心轨迹半径（I -（H - Z）TAN（A）- D - K）
      #29 = #11 - #26；圆锥槽高（H - Z）
      #30 = #28/#27；凹圆直槽 XY 平面内分层切削次数
      #31 = #29/#17；垂直平面内分层切削次数
      #30 = FIX[#30]；上取整（宽度分层切削数取整）
      #31 = FIX[#31]；上取整（深度分层切削数取整）
N010  G90  G00  X[#24 + #3]  Y#25；指令刀具移到工件圆弧切入点
N015  Z#18；刀具快速下降到工件上方安全距离
N020  G01  Z[#11 + #6]  F[#9/2]；刀具以工进速度下降
N025  #100 = 1；深度计数器置初始值
N030  WHILE[#100LE#31]  DO1；如果#100 大于#31，则程序跳转到 N085 程序段
N035  G91  G02  I - #3  Z - #17  F[#9/4]；螺旋线进给切入
N040  #101 = 1；宽度计数器置初始值
N045  WHILE[#101LE#30] DO2；如果#101 大于#30，则程序跳转到 N070 程序段
N050  G90  G01  X[#24 + #27 * #101]  Y#25  F#9；直线插补到粗加工圆弧直槽上
N055  G02  I[ - #27 * #101] J0；整圆插补加工
N060  #101 = #101 + 1；宽度计数器加 1
N065  END2；返回循环体 2
N070  #100 = #100 + 1；深度计数器加 1
N075  G90  G01  X[#24 + #3]  Y#25；退回圆锥槽切入点
N080  END1；返回循环体 1
N085  G90  G02  I - #3  Z - #29  F[#9/4]；螺旋线进给切入到圆锥槽最终加工深度
N090  #101 = 1；宽度计数器置初始值
N095  WHILE[#101LE#30] DO3；如果#101 大于#30，则程序跳转到 N120 程序段
N100  G90  G01  X[#24 + 27 * #101]  Y#25  F#9；直线插补到粗加工圆弧直槽上
N105  G02  I[ - #27 * #101]  J0；整圆插补加工
N110  #101 = #101 + 1；宽度计数器加 1
N115  END3；返回循环体 3
N120  #102 = [#11 - #26] * TAN[#1]/#6；圆锥槽切削宽度分层次数计算（H - Z）
                                        TAN（A）/K
N125  #103 = [#11 - #26]/#102；圆锥槽背吃刀量分层量计算
N130  #104 = #103；
N135  #104 = FUP[#104]；下取整
N140  #100 = 1；宽度计数器置初始值
N145  WHILE[#100LE#104]  DO1；如果#100 大于#104，则程序跳转到 N190 程序段
N150  G90  G01  X[#24 + #28 + #100 * #6 - #3]  Y[#25 + #3]；直线插补到切入圆
                                                          起点
```

N155　G02　X［#24 + #28 + #100 * #6］　Y#25 R#3；以半径等于#3 的 1/4 圆弧切入
N160　G02　I -［#28 + #100 * #6］　J0；进行整圆插补加工
N165　G02 X［#24 + #28 + #100 * #6 - #3］　Y［#25 - #3］　R#3；以半径等于#3 的 1/4 圆弧切出
N170　G01　Y#25；退回到 X 轴上
N175　G91　G01　Z#103；垂向上升#103
N180　#100 = #100 + 1；计数器加 1
N185　END1；返回循环体 1
N190　G90　G00　X#24　Y#25；回到锥槽中心
N195　Z［#18 + 50］；刀具快速抬起离开工件
N200　M99；宏程序结束并返回主程序

注意：

1）刀具半径值 D 必须小于或等于锥槽底圆弧半径 I。
2）有效切削刀具直径百分比 E 不可大于 1.0。
3）R、H、Z 的设定值必须遵守：Z < H < R。
4）精加工余量 K 不能大于 Q（0≤K≤Q≤H - Z）。
5）每层加工深度 Q 不能大于零件总加工厚度（R - Z），关系（0≤K≤Q≤H - Z）。
6）刀具半径值必须大于 0。
7）程序中没有使用刀具半径补偿指令 G41、G42、G40。

4. 编程实例

在铣床或加工中心上加工图 3-79 所示圆锥槽零件的侧面。圆锥顶部圆弧半径为 100mm，圆锥槽最终加工深度 Z 为 -15.0mm，圆锥槽的锥度 A 为 10°。试用变量（或参数）编写出加工此类零件的通用程序。

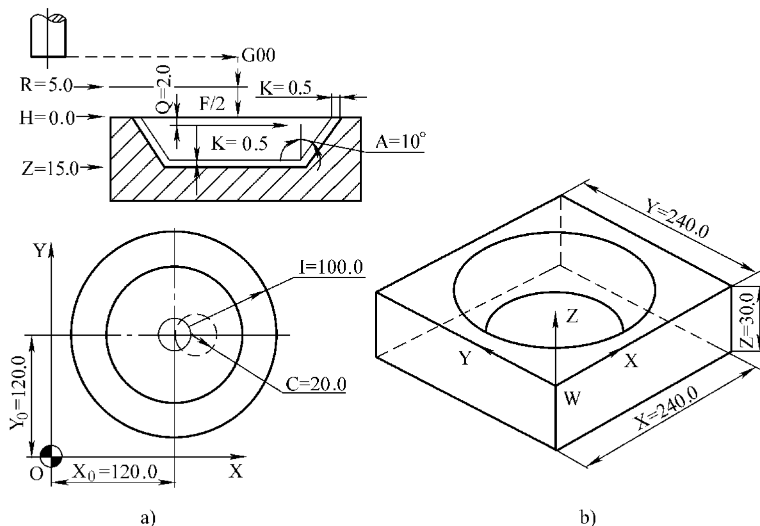


图 3-79　圆锥槽零件铣削编程实例刀具路线示意图
a）尺寸图　b）效果图

解：

（1）工艺设计　建立工件坐标系，确定圆锥槽圆弧中心的工件绝对坐标为（120.0，120.0），工件表面为工件坐标系 Z 轴的零点，机床坐标系偏置值设置在 G54 寄存器中，切削方向为顺铣。

（2）加工顺序　螺旋粗铣削加工直槽、精加工槽底部、精加工圆锥槽侧面。

螺旋粗铣削加工直槽时，Z 轴每次下降层深度 Q 为 2.0mm；圆锥顶部 Z 轴绝对坐标值 H 为 0；精加工余量 K 为 0.5mm。铣刀直径 32mm，主轴转速为 500r/min，铣削进给速度为 150mm/min，主轴起始位置在零件上方 50.0mm 处，螺旋线插补半径为 20.0mm，刀具起始切削安全高度 R 为 5.0mm，有效切削刀具直径百分比为 0.7。根据不同数控系统，运用变量引数赋值和参数直接赋值编制宏程序。

（3）零件加工程序

1）HNC—21/22M 华中世纪星数控系统。

局部变量含义：

#23 = 120.0；圆锥槽圆弧中心的 X 绝对坐标值

#24 = 120.0；圆锥槽圆弧中心的 Y 绝对坐标值

#25 = −15.0；圆锥槽最终加工深度

#17 = 5.0；刀具起始切削安全高度

#16 = 2.0；Z 轴每次降层深度

#7 = 0；圆锥顶部 Z 轴绝对坐标值

#8 = 100.0；圆锥槽的顶圆弧半径

#10 = 0.5；精加工余量

#0 = 10.0；圆锥槽的锥角

#2 = 20.0；螺旋线切削圆半径

#3 = 16.0；刀具半径

#4 = 0.7；有效刀具直径百分比

#5 = 150；切削进给速度

主程序如下：

O××××；文件名

%××××；程序号

N05　T01　M06；换刀（数控铣可省去这段语句）

N10　G40　G49　G80；取消补偿

N15　G17　G90　G21　G94　G54；程序状态设置

N20　S500　M03；主轴正转，转速为 350r/min

N25　G43　G00　Z50.0　H01；刀具正向长度补偿下降到工件上方 50mm 处

N30　X0.0　Y0.0　M07；刀具运行到工件坐标零点，打开切削液

N35　M98　P3361　X120.0　Y120.0　Z−15.0　R5.0　H0　I100.0　D16.0　F150.0　Q2.0　E0.7　A10.0　K0.5　C20.0；调用圆锥槽铣削子程序

N40　G00　G49　Z−10.0　M09；刀具上抬并取消刀具长度补偿，关闭切削液

N45　X−80　Y0　M05；刀具快速移到工件一侧，主轴停止旋转

N50 M30；主程序结束并返回程序开头
%3361；圆锥槽侧面铣削宏程序（见上）
⋮
M99；子程序结束并返回主程序
2）SINUMERIK 802D 数控系统。
FZG×××××；主程序名
N10 R24=120；工件圆弧中心的 X 绝对坐标值
R25=120；工件圆弧中心的 Y 绝对坐标值
R26=-15；圆锥槽最终加工深度
R18=5；刀具起始切削安全高度
R17=2；Z 轴每次降层深度
R11=0；圆锥顶部 Z 轴绝对坐标值
R4=100；圆锥槽的顶圆弧半径
R6=0.5；精加工余量
R7=16；刀具半径
R8=0.7；有效刀具直径百分比
R1=10；圆锥槽的锥角
R9=150；切削进给速度
R3=20；螺旋线切削圆半径
N15 T01 M06；换刀（数控铣可省去这段语句）
N20 G40；取消补偿
N25 G17 G90 G71 G94 G54；程序状态设置
N30 S500 M03；主轴正转，转速为 350r/min
N35 G00 Z50.0 D01；刀具正向长度补偿下降到工件上方 50mm 处
N40 X0.0 Y0.0 M07；刀具运行到工件坐标零点，打开切削液
N50 L3361；调用圆锥槽铣削加工 R 参数子程序
N55 G00 G49 Z-10.0 M09；刀具上抬并取消刀具长度补偿，关闭切削液
N60 X-80 Y0 M05；刀具快速移到工件一侧，主轴停止旋转
N65 M02；主程序结束并返回程序开头
L3361；圆锥槽侧面铣削 R 参数子程序（见上）
⋮
RET；R 参数子程序结束并返回主程序
3）FANUC 0i 数控系统。
自变量含义：
#24=120.0；工件圆弧中心的 X 绝对坐标值
#25=120.0；工件圆弧中心的 Y 绝对坐标值
#26=-15.0；圆锥槽最终加工深度
#18=5.0；刀具起始切削安全高度
#17=2.0；Z 轴每次降层深度

#11 = 0；圆锥槽顶部 Z 轴绝对坐标值
#4 = 100.0；圆锥槽的顶圆弧半径
#6 = 0.5；精加工余量
#7 = 16.0；刀具半径
#8 = 0.7；有效刀具直径百分比
#1 = 10.0；圆锥槽的锥角
#9 = 150；切削进给速度
#3 = 20.0；螺旋线切削圆半径
主程序如下；
O××××；主程序名
N05　T01　M06；换刀（数控铣可省去这段语句）
N10　G40　G49　G80；取消补偿
N15　G17　G90　G21　G94　G54；程序状态设置
N20　S500　M03；主轴正转，转速为 350r/min
N25　G43　G00　Z50.0　H01；刀具正向长度补偿下降到工件上方 50mm 处
N30　X0.0　Y0.0　M07；刀具运行到工件坐标零点，打开切削液
N35　G65　P3361　X120.0　Y120.0　Z－15.0　R5.0　H0　I100.0　D16　F150 Q2.0　E0.7　A10.0　K0.5　C20.0；调用圆锥槽铣削加工子程序
N40　G00　G49　Z－10.0　M09；刀具上抬并取消刀具长度补偿，关闭切削液
N45　X－80　Y0　M05；刀具快速移到工件一侧，主轴停止旋转
N50　M30；主程序结束并返回程序开头
O3361；圆锥槽侧面铣削宏程序（见上）
⋮
M99；子程序结束并返回主程序

3.3.6.2　四方锥槽类零件侧面铣削宏程序编程

编制一个加工铣削图 3-80 所示四方锥槽类零件侧面的通用程序。假设四方锥槽中心的绝对横坐标值为 X_0、绝对纵坐标值为 Y_0；四方锥槽的最终加工深度为 Z；刀具在工件上方切削安全距离为 R；H 为四方锥槽顶部 Z 轴绝对坐标值；U 为四方锥槽顶部长度，V 为四方锥槽顶部宽度；四方锥槽顶部圆角半径为 I，四方锥槽底部圆角半径为 J；D 为刀具半径；F 为切削进给速度；Z 轴每次下降背吃刀量为 Q；锥槽侧面精加工每次上升高度为 S（S = 0.1 ~ 0.5mm）；四方锥槽 Y 平面的锥度为 A；四方锥槽 X 平面的锥度为 B；精加工余量为 K。

由图 3-80 分析，可画出该宏程序的结构流程框图，如图 3-81 所示。

说明：加工顺序为螺旋铣削粗加工矩形直槽、精加工锥槽底部、精加工锥槽侧面。

1. HNC—21/22M 华中世纪星数控系统对四方锥槽类零件侧面铣削加工的用户宏程序

局部变量含义：
#23 = X_0；X_0—工件四方锥槽中心的 X 绝对坐标值
#24 = Y_0；Y_0—工件四方锥槽中心的 Y 绝对坐标值
#25 = Z；Z—工件四方锥槽最终加工深度

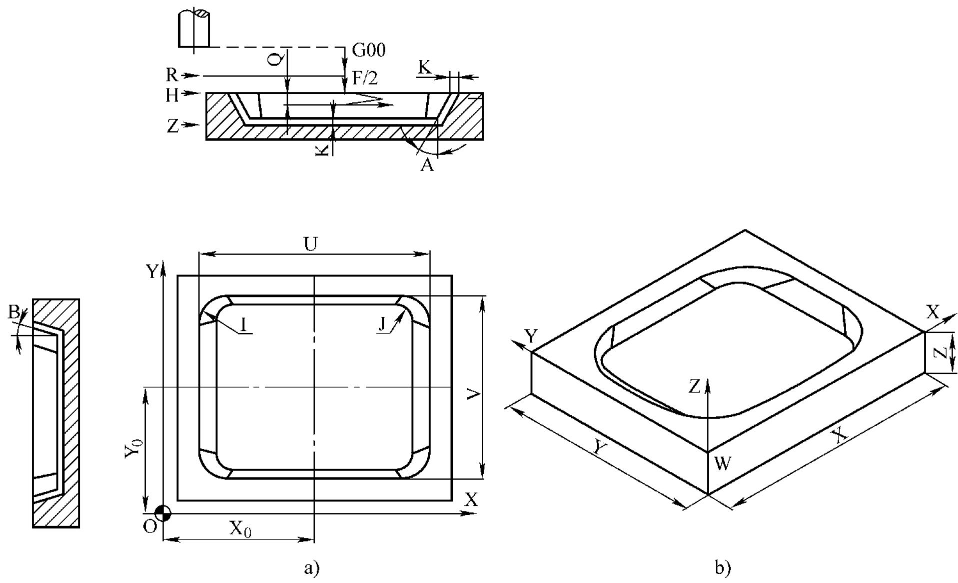


图 3-80　四方锥槽类零件侧面铣削刀具路线示意图

a）零件图　b）效果图

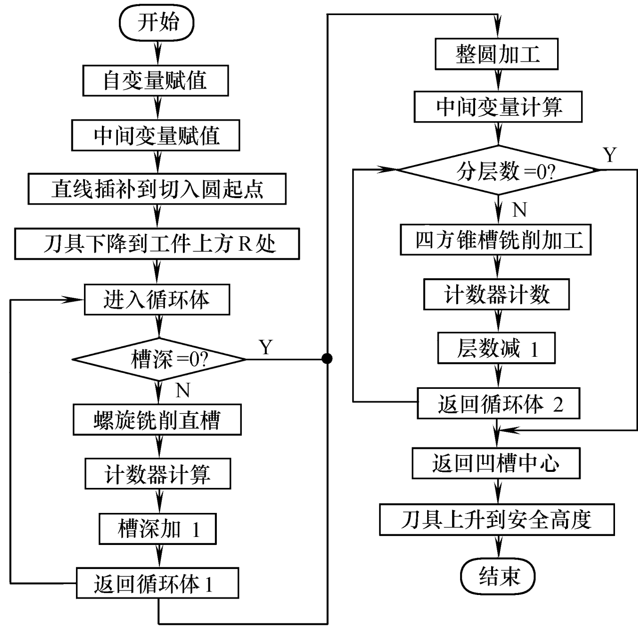


图 3-81　铣削加工四方锥槽的用户宏程序结构流程框图

#17 = R；R—刀具起始切削安全高度

#7 = H；H—螺旋线插补切削 Z 轴起点绝对坐标值

#20 = U；U—工件四方锥槽顶部长度

#21 = V；V—工件四方锥槽顶部宽度

#8 = I；I—四方锥槽顶部圆角半径

#9 = J；J—四方锥槽底部圆角半径
#3 = D；D—刀具半径
#5 = F；F—切削进给速度
#16 = Q；Q—Z 轴每次下降背吃刀量
#18 = S；S—锥槽侧面精加工每次上升高度（S = 0.1 ~ 0.5mm）
#4 = E；E—有效刀具直径百分比
#0 = A；A—四方锥槽的 YZ 平面的锥度
#1 = B；B—四方锥槽的 XZ 平面的锥度
#2 = C；C—螺旋切削半径
#10 = K；K—精加工余量
%3362；宏程序号
N005　#29 = #7 - #16；首次螺旋下降深度（H - Q）
N010　#30 = #20/2 - [#7 - #25] * TAN [#0 * PI/180]；四方锥槽底部长度的一半
N015　#31 = #21/2 - [#7 - #25] * TAN [#1 * PI/180]；四方锥槽底部宽度的一半
N020　#106 = #25；把最终加工深度#25 赋给#106
N025　#12 = 2 * #3 * #4；刀具有效切削直径（2DE）
N030　IF #20LT#21；如果#20 小于#21，则程序跳转到 N060（U < V）
N035　#15 = [#30 - #3 - #10] /#12；X 向均宽切削次数计算
N040　#116 = #15；将 X 向均宽切削次数赋给中间变量#116
N045　#14 = [#31 - #3 - #10] /#15；Y 向均宽切削厚度计算
N050　#15 = INT [#15]；取整（X 向分层切削数取整）
N055　ELSE；跳转到 N110 程序段
N060　#15 = [#31 - #3 - #10] /#12；Y 向均宽切削次数计算
N065　#116 = #15；将 Y 向均宽切削次数赋给中间变量#116
N070　#14 = [#30 - #3 - #10] /#15；X 向均宽切削厚度计算
N075　#15 = INT [#15]；取整（Y 向分层切削数取整）
N080　#13 = #12；将刀具有效切削直径值赋给中间变量#13
N085　#12 = #14；将 Y 向均宽切削厚度值#14 赋给中间变量#12
N090　#14 = #13；将中间变量#13 的值赋给中间变量#14
N095　ENDIF；条件语句结束
N110　G90　G00　X [#23 + #2]　Y [#24]；刀具移到四方锥槽中心右侧
N100　Z [#17]；刀具快速下降到工件上方安全距离
N105　G01　Z [#7]　F [#5/2]；刀具以工进速度下降
N110　#104 = [#8 - #9] * #18/ [#7 - #106]；计算从锥槽底部逐次递增高度后的圆角半径值
N115　WHILE #29GE#25；如果#29 小于#25，则程序跳转到 N190 程序段
N120　G02　I [- #2] Z [#29]　F [#5/4]；螺旋线进给
N125　#100 = 1；计数器置初始值
N130　WHILE #100LE#15；如果#100 大于#15，则程序跳转到 N180 程序段

```
N135  G01  X［#23+#100*#12］  F［#5/2］；X0+分层切削次数×有效切削刀具直径
N140  Y［#24-#100*#14］  R［#9］；沿直槽轮廓直线插补顺铣削加工
N145  X［#23-#100*#12］  R［#9］；
N150  Y［#24+#100*#14］  R［#9］；
N155  X［#23+#100*#12］  R［#9］；
N160  Y［#24］；
N165  X［#23+#2］；退回切入点
N170  #100=#100+1；计数器加1
N175  ENDW；返回循环体2
N180  #29=#29-#16；
N185  ENDW；
N190  G02  I［-#2］  Z［#25］  F［#5/4］；螺旋线进给，进入四方锥槽底部精加工循环
N195  #100=1；计数器置初始值
N200  WHILE #100LE#15；如果#100大于#15，则程序跳转到N250程序段
N205  G01  X［#23+#100*#12］  F［#5/2］；X0+分层切削次数×有效切削刀具直径
N210  Y［#24-#100*#14］  R［#9］；沿直槽轮廓直线插补顺铣削加工
N215  X［#23-#100*#12］  R［#9］；
N220  Y［#24+#100*#14］  R［#9］；
N225  X［#23+#100*#12］  R［#9］；
N230  Y［#24］；
N235  X［#23+#2］；退回切入点
N240  #100=#100+1；计数器加1
N245  ENDW；返回循环体3
N250  #110=#18*TAN［#0*PI/180］；X向递增量=锥槽侧面精加工每次上升高度×斜率
N255  #111=#18*TAN［#1*PI/180］；Y向递增量=锥槽侧面精加工每次上升高度×斜率
N260  #200=0；初始值置0
N265  WHILE #25LE#7；如果#25大于#7，则程序跳转到N345程序段
N270  G01  X［#23+#2］  Y［#24-［#31+#200*#111］+#2+#3］；直线插补到切入圆起点
N275  G02  X［#23］  Y［#24-［#31+#200*#111］+#3］  R［#2］  F［#5/2］；圆弧切线切入
N280  G01  X［#23-［#30+#200*#110］+#3］  R［#9+#200*#104］；沿锥槽轮廓直线插补
N285  Y［#24+［#31+#200*#111］-#3］  R［#9+#200*#104］  F［#5］；
```

N290　X［#23+［#30+#200*#110］-#3］　R［#9+#200*#104］;

N295　Y［#24-［#31+#200*#111］+#3］　R［#9+#200*#104］;

N300　X［#23］　F［#5］; 直线插补到切出圆起点（切入圆终点）

N305　G02　X［#23-#2］　Y［#24-［#31+#100*#111］+#2+#3］　R［#2］; 圆弧切线切出

N310　G01　X［#23］　Y［#24］　F［#5］; 返回锥槽中心

N325　#25=#25+#18; 四方锥槽精加工的高度均值递增

N330　#200=#200+1;

N335　Z［#25］; 等高上升一个增量值

N340　ENDW; 返回循环体 4

N345　G90　G00　X［#23］　Y［#24］; 回到锥槽中心

N350　Z［#17+50］; 刀具快速抬起离开工件

N355　M99; 宏程序结束并返回主程序

2. SINUMERIK 802D 数控系统对四方锥槽类零件侧面铣削加工的用户 R 参数程序

R 参数含义:

R24 = X_0; X_0—工件四方锥槽中心的 X 绝对坐标值

R25 = Y_0; Y_0—工件四方锥槽中心的 Y 绝对坐标值

R26 = Z; Z—工件四方锥槽最终加工深度

R18 = R; R—刀具起始切削安全高度

R11 = H; H—螺旋线插补切削 Z 轴起点绝对坐标值

R21 = U; U—工件四方锥槽顶部长度

R22 = V; V—工件四方锥槽顶部宽度

R4 = I; I—四方锥槽顶部圆角半径

R5 = J; J—四方锥槽底部圆角半径

R7 = D; D—刀具半径

R9 = F; F—切削进给速度

R17 = Q; Q—Z 轴每次下降背吃刀量

R19 = S; S—锥槽侧面精加工每次上升高度（S = 0.1 ~ 0.5mm）

R8 = E; E—有效刀具直径百分比

R1 = A; A—四方锥槽的 YZ 平面的锥度

R2 = B; B—四方锥槽的 XZ 平面的锥度

R3 = C; C—螺旋切削半径

R6 = K; K—精加工余量

L3362; 参数程序

N005　R29=R11-R17; 首次螺旋下降深度（H-Q）

N010　R30=R21/2-［R11-R26］*TAN［R1］; 四方锥槽底部长度的一半

N015　R31=R22/2-［R11-R26］*TAN［R2］; 四方锥槽底部宽度的一半

N020　R106=R26; 把最终加工深度 R26 赋给 R106

N025　R12=2*R7*R8; 刀具有效切削直径（2×D×E）

```
N030 IF R21 < R22 GOTOF 60；如果 R21 小于 R22，则程序跳转到 N060（U < V）
N035 R15 = [R30 - R7 - R6] /R12；X 向均宽切削次数计算
N040 R116 = R15；将 X 向均宽切削次数赋给中间变量 R116
N045 R14 = [R31 - R7 - R6] /R15；Y 向均宽切削厚度计算
N050 R15 = TRUNC [R15]；取整（X 向分层切削数取整）
N055 GOTOF 95；无条件跳转到 N095 程序段
N060 R15 = [R31 - R7 - R6] /R12；Y 向均宽切削次数计算
N065 R116 = R15；将 Y 向均宽切削次数 R15 赋给中间变量 R116
N070 R14 = [R30 - R7 - R6] /R15；X 向均宽切削厚度计算
N075 R15 = TRUNC [R15]；取整（Y 向分层切削数取整）
N080 R16 = R12；将刀具有效切削直径值赋给中间变量 R16
N085 R12 = R14；将 Y 向均宽切削厚度值 R14 赋给中间变量 R12
N090 R14 = R16；将中间变量 R16 的值赋给中间变量 R14
N095 G90  G00  X = R24 + R3  Y = R25；刀具移到四方锥槽中心右侧
N100 Z = R18；刀具快速下降到工件上方安全距离
N105 G01  Z = R11  F = R9/2；刀具以工进速度下降
N110 R104 = [R4 - R5] * R19/ [R11 - R106]；锥槽底部到顶部的圆角半径递增值计算
N115 MARKE1：G02  I = - R3  Z = R29  F = R9/4；螺旋线进给，进入四方凹槽切削循环
N120 R100 = 1；计数器置初始值
N125 MARKE2：G01  X = R24 + R100 * R12 F = R9/2；X0 + 分层切削次数 × 有效切削刀具直径
N130 Y = R25 - R100 * R14 RND = R5；沿直槽轮廓直线插补顺铣削加工
N135 X = R24 - R100 * R12 RND = R5；
N140 Y = R25 + R100 * R14 RND = R5；
N145 X = R24 + R100 * R12 RND = R5；
N150 Y = R25；
N155 X = R24 + R3；退回切入点
N160 R100 = R100 + 1；计数器加 1
N165 IF R100 < = R15  GOTOB  MARKE2；如果 R100 小于或等于 R15，则程序跳转到 MARKE2
N170 R29 = R29 - R17；下降深度的均值递减
N175 IF R29 < = R26  GOTOB  MARKE1；如果 R29 小于或等于 R26，则程序跳转到 MARKE1
N180 G02  I = - R3  Z = R26  F = R9/4；螺旋线进给，进入四方锥槽底部精加工循环
N185 R100 = 1；计数器置初始值
N190 MARKE3：G01  X = R24 + R100 * R12 F = R9/2；X0 + 分层切削次数 × 有效切削刀具直径
```

N195　Y = R25 - R100 * R14　RND = R5；沿直槽轮廓直线插补顺铣削加工
N200　X = R24 - R100 * R12　RND = R5；
N205　Y = R25 + R100 * R14　RND = R5；
N210　X = R24 + R100 * R12　RND = R5；
N215　Y = R25；
N220　X = R24 + R3；退回切入点
N225　R100 = R100 + 1；计数器加1
N230　IF R100 < = R15 GOTOB MARKE3；如果R100小于或等于R15，则程序跳转到MARKE3
N235　R110 = R19 * TAN [R1]；X向递增量 = 锥槽侧面精加工每次上升高度 × 斜率
N240　R111 = R19 * TAN [R2]；Y向递增量 = 锥槽侧面精加工每次上升高度 × 斜率
N245　R200 = 0；初始值置0
N250　MARKE4：G01　X = R24 + R3　Y = [R25 - [R31 + R200 * R111] + R3 + R7]；直线插补到切入圆起点（进行锥槽侧面精加工循环）
N255　G02　X = R24　Y = R25 - [R31 + R200 * R111] + R7　CR = R3　F = R9/2；圆弧切线切入
N260　G01　X = [R24 - [R30 + R200 * R110] + R7]　RND = R5 + R200 * R104；沿锥槽轮廓直线插补
N265　Y = [R25 + [R31 + R200 * R111] - R7]　RND = R5 + R200 * R104　F = R9；直线插补
N270　X = [R24 + [R30 + R200 * R110] - R7]　RND = R5 + R200 * R104　F = R9/2；直线插补
N275　Y = [R25 - [R31 + R200 * R111] + R7]　RND = R5 + R200 * R104；沿锥槽轮廓直线插补
N280　X = R24　F = R9；直线插补到切出圆起点（切入圆终点）
N285　G02　X = R24 - R3　Y = [R25 - [R31 + R200 * R111] + R3 + R7]　CR = R3　F = R9/2；圆弧切线切出
N290　G01　X = R24　Y = R25　F = R9；返回锥四方槽中心
N295　R26 = R26 + R19；四方锥槽精加工的高度均值递增
N300　R200 = R200 + 1；计数器加1
N305　Z = R26；等高上升一个增量值
N310　IF R26 < = R11　GOTOB　MARKE4；如果R26小于或等于R11，则程序跳转到MARKE4
N315　G90　G00　X = R24　Y = R25；回到锥槽中心
N320　Z = R18 + 50；刀具快速抬起离开工件
N325　RET；R参数子程序结束并返回主程序

3. FANUC 0i数控系统对四方锥槽类零件侧面铣削加工的用户宏程序

自变量含义：

#24 = X_0；X_0—工件四方锥槽中心的 X 绝对坐标值
#25 = Y_0；Y_0—工件四方锥槽中心的 Y 绝对坐标值
#26 = Z；Z—工件四方锥槽最终加工深度
#18 = R；R—刀具起始切削安全高度
#11 = H；H—螺旋线插补切削 Z 轴起点绝对坐标值
#21 = U；U—工件四方锥槽顶部长度
#22 = V；V—工件四方锥槽顶部宽度
#4 = I；I—四方锥槽顶部圆角半径
#5 = J；J—四方锥槽底部圆角半径
#7 = D；D—刀具半径
#9 = F；F—切削进给速度
#17 = Q；Q—Z 轴每次下降背吃刀量
#19 = S；S—锥槽侧面精加工每次上升高度（S = 0.1 ~ 0.5mm）
#8 = E；E—有效刀具直径百分比
#1 = A；A—四方锥槽的 Y 平面的锥度
#2 = B；B—四方锥槽的 X 平面的锥度
#3 = C；C—螺旋切削半径
#6 = K；K—精加工余量
O3362；宏程序名
N005　#29 = #11 - #17；首次螺旋下降深度（H - Q）
N010　#30 = #21/2 - ［#11 - #26］ * TAN［#1］；四方锥槽底部长度的一半
N015　#31 = #22/2 - ［#11 - #26］ * TAN［#2］；四方锥槽底部宽度的一半
N020　#106 = #26；把最终加工深度#26 赋给#106
N025　#12 = 2 * #7 * #8；刀具有效切削直径（2DE）
N030　IF［#21LT#22］GOTO060；如果#21 小于#22，则程序跳转到 N060（U < V 吗）
N035　#15 = ［#30 - #7 - #6］/#12；X 向均宽切削次数计算
N040　#116 = #15；将 X 向均宽切削次数赋给中间变量#116
N045　#14 = ［#31 - #7 - #6］/#15；Y 向均宽切削厚度计算
N050　#15 = FIX［#15］；上取整（X 向分层切削数取整）
N055　GOTO095；无条件跳转到 N095
N060　#15 = ［#31 - #7 - #6］/#12；Y 向均宽切削次数计算
N065　#116 = #15；将 Y 向均宽切削次数赋给中间变量#116
N070　#14 = ［#30 - #7 - #6］/#15；X 向均宽切削厚度计算
N075　#15 = FIX［#15］；上取整（Y 向分层切削数取整）
N080　#13 = #12；将刀具有效切削直径值赋给中间变量#13
N085　#12 = #14；将 Y 向均宽切削厚度值#14 赋给中间变量#12
N090　#14 = #13；将中间变量#13 的值赋给中间变量#14
N095　G90　G00　X［#24 + #3］　Y#25；刀具移到四方锥槽中心右侧
N100　Z#18；刀具快速下降到工件上方安全距离

```
N105　G01　Z#11　F［#9/2］；刀具以工进速度下降
N110　#104＝［#4－#5］＊#19/［#11－#106］；锥槽底部到顶部的圆角半径递增值计算
N115　WHILE［#29GE#26］DO1；如果#29小于#26，则程序跳转到N190程序段
N120　G02　I－#3　Z#29　F#9/4；螺旋线进给
N125　#100＝1；计数器置初始值
N130　WHILE［#100LE#15］DO2；如果#100大于#15，则程序跳转到N180程序段（判断次数）
N135　G01　X［#24＋#100＊#12］　F［#9/2］；X0＋分层切削次数×有效切削刀具直径
N140　Y［#25－#100＊#14］　R#5；沿直槽轮廓直线插补顺铣削加工
N145　X［#24－#100＊#12］　R#5；沿直槽轮廓直线插补顺铣削加工
N150　Y［#25＋#100＊#14］　R#5；沿直槽轮廓直线插补顺铣削加工
N155　X［#24＋#100＊#12］　R#5；沿直槽轮廓直线插补顺铣削加工
N160　Y#25；沿直槽轮廓直线插补顺铣削加工
N165　X［#24＋#3］；退回切入点
N170　#100＝#100＋1；计数器加1
N175　END2；返回循环体2
N180　#29＝#29－#17；
N185　END1；返回循环体1
N190　G02　I－#3　Z#26　F#9/4；螺旋线进给，进入四方锥槽底部精加工循环
N195　#100＝1；计数器置初始值
N200　WHILE［#100LE#15］DO3；如果#100大于#15，则程序跳转到N250程序段
N205　G01　X［#24＋#100＊#12］　F［#9/2］；X0＋分层切削次数×有效切削刀具直径
N210　Y［#25－#100＊#14］　R#5；沿直槽轮廓直线插补顺铣削加工
N215　X［#24－#100＊#12］　R#5；沿直槽轮廓直线插补顺铣削加工
N220　Y［#25＋#100＊#14］　R#5；沿直槽轮廓直线插补顺铣削加工
N225　X［#24＋#100＊#12］　R#5；沿直槽轮廓直线插补顺铣削加工
N230　Y#25；沿直槽轮廓直线插补顺铣削加工
N235　X［#24＋#3］；退回切入点
N240　#100＝#100＋1；计数器加1
N245　END3；返回循环体3
N250　#110＝#19＊TAN［#1］；X向递增量＝锥槽侧面精加工每次上升高度×斜率
N255　#111＝#19＊TAN［#2］；Y向递增量＝锥槽侧面精加工每次上升高度×斜率
N260　#200＝0；
N265　WHILE［#26LE#11］DO1；如果#26大于#11，则程序跳转到N345程序段（进入锥槽侧面精加工循环）
N270　G01　X［#24＋#3］　Y［#25－［#31＋#200＊#111］＋#3＋#7］；直线插补到切入圆起点
```

N275 G02 X#24 Y［#25－［#31＋#200＊#111］＋#7］ R#3 F［#9/2］；圆弧切线切入

N280 G01 X［#24－［#30＋#200＊#110］＋#7］ R［#5＋#200＊#104］；沿锥槽轮廓直线插补

N285 Y［#25＋［#31＋#200＊#111］－#7］ R［#5＋#200＊#104］ F#9；沿锥槽轮廓直线插补

N290 X［#24＋［#30＋#200＊#110］－#7］ R［#5＋#200＊#104］ F#9/2；沿锥槽轮廓直线插补

N295 Y［#25－［#31＋#200＊#111］＋#7］ R［#5＋#200＊#104］；沿锥槽轮廓直线插补

N300 X#24 F#9；直线插补到切出圆起点（切入圆终点）

N305 G02 X［#24－#3］ Y［#25－［#31＋#100＊#111］＋#3＋#7］ R#3 F#9/2；圆弧切线切出

N310 G01 X#24 Y#25 F#9；返回四方锥槽中心

N325 #26＝#26＋#19；四方锥槽精加工的高度均值递增

N330 #200＝#200＋1；计数器加1

N335 Z#26；等高上升一个增量值

N340 END1；返回循环体1

N345 G90 G00 X#24 Y#25；回到锥槽中心

N350 Z［#18＋50］；刀具快速抬起离开工件

N355 M99；宏程序结束并返回主程序

注意：

1）刀具半径值D必须小于或等于四方锥槽底部圆弧半径I（或J）。

2）R、H、Z的设定值必须遵守：Z＜H＜R。

3）有效切削刀具直径百分比E不可大于1.0。

4）精加工余量K不能大于Q（0≤K≤Q≤H－Z）。

5）每层加工深度Q不能大于零件总加工厚度（R－Z），关系0≤K≤Q≤H－Z。

6）刀具半径值必须大于0。

7）程序中没有使用刀具半径补偿指令G41、G42、G40。

8）刀具直径必须小于或等于四方锥槽底小端槽宽V（或U）。

4. 编程实例

在铣床或加工中心上加工图3-82所示四方锥槽零件的侧面。四方锥槽顶部长度为150.0mm，四方锥槽顶部宽度为120.0mm，四方锥槽顶部倒圆半径I为40.0mm，四方锥槽底部倒圆半径J为20.0mm，Y平面锥角A为30°，X平面锥角B为15°，四方锥槽最终加工位置为Z－10.0mm。试用变量（或参数）编写出加工此零件的数控程序。

解：

（1）工艺设计 建立工件坐标系，确定四方锥槽中心的工件绝对坐标为（150.0，

120.0)，工件表面为工件坐标系Z轴的零点，机床坐标系偏置值设置在G54寄存器中，切削方向为顺铣。

（2）加工顺序：螺旋粗加工铣削四方直槽，精加工锥槽底部，精加工四方锥槽侧面。

螺旋粗加工铣削四方直槽时，Z轴每次下降背吃刀量Q为2.0mm；四方锥槽侧面精加工时，每次上升高度S为0.5mm；精加工余量K为0.5mm。铣刀直径为32mm，主轴转速为500r/min，铣削进给速度为150mm/min，主轴起始位置在零件上方50.0mm处，螺旋线插补半径为10.0mm，刀具起始切削安全高度在零件上方5.0mm处，有效切削刀具直径百分比为0.7。根据不同数控系统，运用变量引数赋值和参数直接赋值编制宏程序。

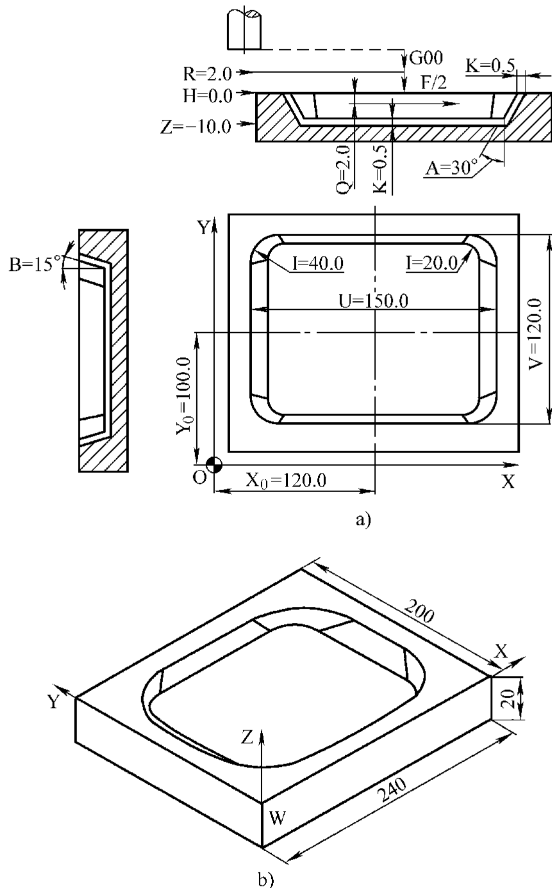


图3-82　四方锥槽零件铣削编程实例刀具路线示意图

a) 尺寸图　b) 效果图

（3）零件加工程序

1）HNC—21/22M华中世纪星数控系统。

局部变量含义：

#23 = 120.0；工件四方锥槽中心的X绝对坐标值

#24 = 100.0；工件四方锥槽中心的Y绝对坐标值

#25 = −10.0；工件四方锥槽最终加工深度

#17 = 5.0；刀具起始切削安全高度

#7 =0；螺旋线插补切削 Z 轴起点绝对坐标值
#20 =150.0；工件四方锥槽顶部长度
#21 =120.0；工件四方锥槽顶部宽度
#8 =40.0；四方锥槽顶部圆角半径
#9 =20.0；四方锥槽底部圆角半径
#3 =16.0；刀具半径
#5 =150.0；切削进给速度
#16 =2.0；Z 轴每次下降背吃刀量
#18 =0.5；锥槽侧面精加工每次上升高度
#4 =0.7；有效刀具直径百分比
#0 =30；四方锥槽的 YZ 平面的锥度
#1 =15；四方锥槽的 XZ 平面的锥度
#2 =20.0；螺旋切削半径
#10 =0.5；精加工余量

主程序如下：

O××××；文件名
%××××；程序号
N05 T01 M06；换刀（数控铣可省去这段语句）
N10 G40 G49 G80；取消补偿
N15 G17 G90 G21 G94 G54 ；程序状态设置
N20 S500 M03；主轴正转，转速为 500r/min
N25 G43 G00 Z50.0 H01；刀具正向长度补偿下降到工件上方 50mm 处
N30 X0.0 Y0.0 M07；刀具运行到工件坐标零点，打开切削液
N35 M98 P3362 X120.0 Y100.0 Z－10.0 R5.0 H0 U150.0 V120.0 I40.0 J20.0 D16.0 F150.0 Q0.5 E0.7 A30. B15. C20.0 K0.5 S0.5；调用铣削四方锥槽类零件侧面的宏程序
N40 G00 G49 Z－10.0 M09；刀具上抬并取消刀具长度补偿，关闭切削液
N45 X－80 Y0 M05；刀具快速移到工件一侧，主轴停止旋转
N50 M30；主程序结束并返回程序开头
%3362；四方锥槽侧面铣削宏程序（见上）
⋮
M99；子程序结束并返回主程序

2）SINUMERIK 802D 数控系统。

FZG×××××；主程序名
N10 R24 =120.0 ；工件四方锥槽中心的 X 绝对坐标值
R25 =100.0 ；工件四方锥槽中心的 Y 绝对坐标值
R26 =－10.0 ；工件四方锥槽最终加工深度
R18 =5.0 ；刀具起始切削安全高度
R11 =0.0 ；螺旋线插补切削 Z 轴起点绝对坐标值

```
        R21 = 150.0    ；工件四方锥槽顶部长度
        R22 = 120.0    ；工件四方锥槽顶部宽度
        R4 = 40.0      ；四方锥槽顶部圆角半径
        R5 = 20.0      ；四方锥槽底部圆角半径
        R7 = 16.0      ；刀具半径
        R9 = F150.0    ；切削进给速度
        R17 = 2.0      ；Z 轴每次下降背吃刀量
        R19 = 0.5      ；锥槽侧面精加工每次上升高度
        R8 = 0.7       ；有效刀具直径百分比
        R1 = 30.0      ；四方锥槽的 YZ 平面的锥度
        R2 = 15.0      ；四方锥槽的 XZ 平面的锥度
        R3 = 20.0      ；螺旋切削半径
        R6 = 0.5       ；精加工余量
N15  T01  D01  M06；换刀（数控铣可省去这段语句）
N20  G40；取消补偿
N25  G17  G90  G71  G94  G54；程序状态设置
N30  S500  M03；主轴正转，转速为 500r/min
N35  G00  Z50.0  D01；刀具正向长度补偿下降到工件上方 50mm 处
N40  X0.0  Y0.0  M07；刀具运行到工件坐标零点，打开切削液
N50  L3362；调用四方锥槽侧面铣削的 R 参数子程序
N55  G00  G49  Z-10.0  M09；刀具上抬并取消刀具长度补偿，关闭切削液
N60  X-80  Y0  M05；刀具快速移到工件一侧，主轴停止旋转
N65  M02；主程序结束并返回程序开头
L3362；四方锥槽侧面铣削 R 参数子程序（见上）
 ⋮
RET；R 参数子程序结束并返回主程序
```

3）FANUC 0i 数控系统。

自变量含义：

```
#24 = 120.0；工件四方锥槽中心的 X 绝对坐标值
#25 = 100.0；工件四方锥槽中心的 Y 绝对坐标值
#26 = -10.0；工件四方锥槽最终加工深度
#18 = 5.0；刀具起始切削安全高度
#11 = 0.0；螺旋线插补切削 Z 轴起点绝对坐标值
#21 = 150.0；工件四方锥槽顶部长度
#22 = 120.0；工件四方锥槽顶部宽度
#4 = 40.0；四方锥槽顶部圆角半径
#5 = 20.0；四方锥槽底部圆角半径
#7 = 16.0；刀具半径
#9 = 150；切削进给速度
```

#17 = 2.0；Z 轴每次下降背吃刀量
#19 = 0.5；锥槽侧面精加工每次上升高度
#8 = 0.7；有效刀具直径百分比
#1 = 30；四方锥槽的 YZ 平面的锥度
#2 = 15；四方锥槽的 XZ 平面的锥度
#3 = 20.0；螺旋切削半径
#6 = 0.5；精加工余量

主程序如下：

O××××；程序名
N05 T01 M06；换刀（数控铣可省去这段语句）
N10 G40 G49 G80；取消补偿
N15 G17 G90 G21 G94 G54；程序状态设置
N20 S500 M03；主轴正转，转速为 500r/min
N25 G43 G00 Z50.0 H01；刀具正向长度补偿下降到工件上方 50mm 处
N30 X0.0 Y0.0 M07；刀具运行到工件坐标零点，打开切削液
N35 G65 P3362 X120.0 Y100.0 Z－10.0 R5.0 H0 U150.0 V120.0 I40.0 J20.0 D16.0 F150.0 Q0.5 E0.7 A30. B15. C20.0 K0.5 S0.5；调用铣削四方锥槽类零件侧面的宏程序
N40 G00 G49 Z－10.0 M09；刀具上抬并取消刀具长度补偿，关闭切削液
N45 X－80 Y0 M05；刀具快速移到工件一侧，主轴停止旋转
N50 M30；主程序结束并返回程序开头
O3362；四方锥槽侧面铣削宏程序（见上）
⋮
M99；子程序结束并返回主程序

3.3.6.3 跑道形锥槽类零件侧面铣削宏程序编程

编制一个宏程序，铣削加工图 3-83 所示跑道形锥槽。假设跑道形锥槽左侧圆弧中心的横坐标绝对值为 X_0，跑道形锥槽左侧圆弧中心的纵坐标绝对值为 Y_0，跑道形锥槽最终加工深度为 Z，刀具快速接近工作点坐标为 R，锥槽顶部 Z 轴绝对值为 H，跑道形锥槽左侧圆弧半径为 I，跑道形锥槽右侧圆弧半径为 J，锥槽左右圆弧中心距为 U，锥槽的锥度为 A，锥槽侧面精加工每次上升高度为 S（S = 0.1 ~ 0.5mm），刀具半径为 D，切削进给速度为 F，Z 轴每次下降层背吃刀量为 Q，有效切削刀具直径百分比为 E，螺旋线插补半径为 C（C = 刀具直径），精加工余量为 K。

由图 3-83 分析，可画出该宏程序的结构流程框图，如图 3-84 所示。

说明：加工顺序为跑道形锥槽铣削粗加工、锥槽底部精加工、锥槽侧面精加工。

1. HNC—21/22M 华中数控系统铣削加工跑道形锥槽的用户宏程序

局部变量含义：

#23 = X_0；X_0—工件跑道形锥槽左侧圆弧中心的横坐标绝对值
#24 = Y_0；Y_0—工件跑道形锥槽左侧圆弧中心的纵坐标绝对值

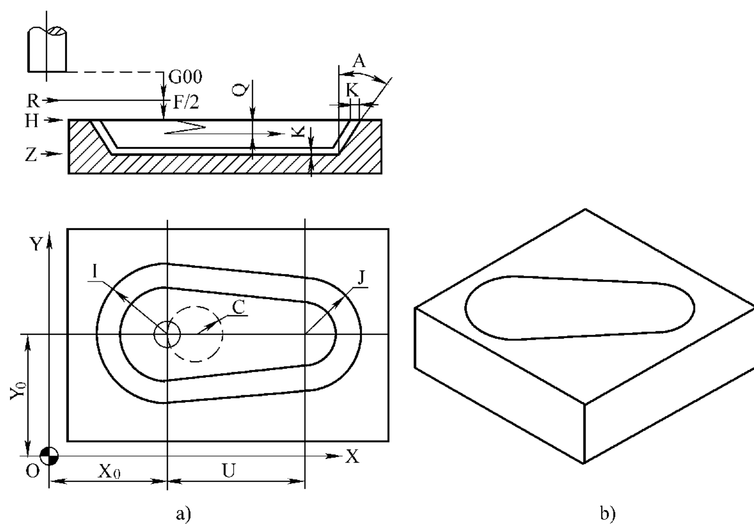


图 3-83　跑道形锥槽零件铣削加工路线示意图
a）零件图　b）效果图

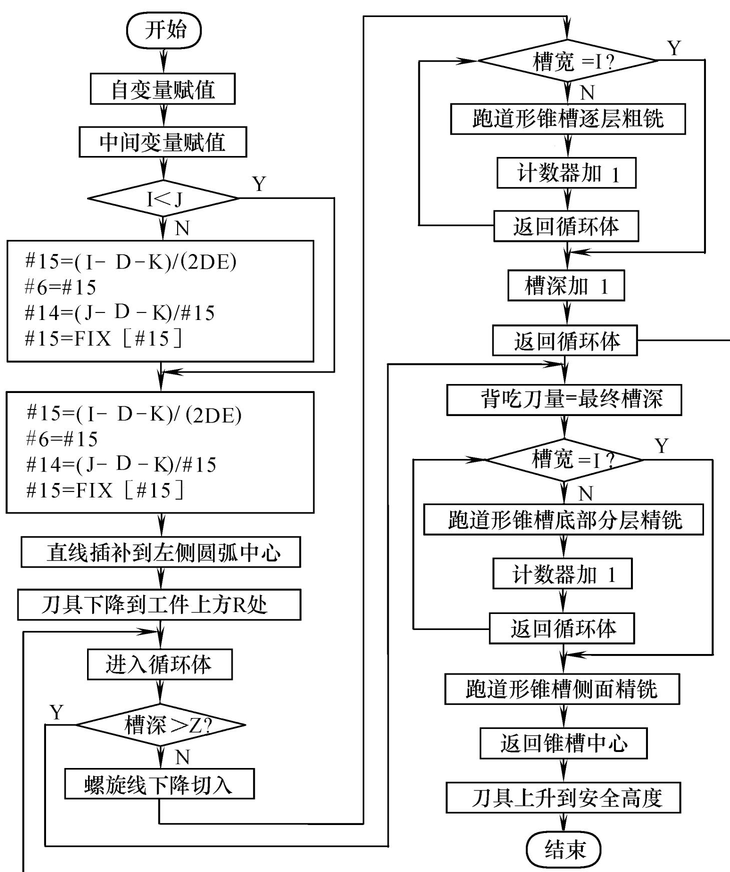


图 3-84　铣削跑道形锥槽的用户宏程序结构流程框图

#25 = Z；Z—工件跑道形锥槽最终加工深度
#20 = U；U—工件跑道形锥槽左右圆弧中心距
#17 = R；R—刀具起始切削安全高度
#16 = Q；Q—工件跑道形锥槽粗加工 Z 轴每次降层深度
#7 = H；H—螺旋线插补切削起始点 Z 轴绝对值坐标值
#8 = I；I—工件跑道形锥槽左侧圆弧半径
#9 = J；J—工件跑道形锥槽右侧圆弧半径
#18 = S；S—锥槽侧面精加工每次上升高度（S = 0.1 ~ 0.5mm）
#3 = D；D—刀具半径
#5 = F；F—切削进给速度
#4 = E；E—有效刀具直径百分比
#2 = C；C—螺旋切削插补半径
#10 = K；K—精加工余量
#0 = A；A—锥槽的锥度
%3363；宏程序
N005　#11 = #7 - #16；首次螺旋下降深（H - Q）
N010　#12 = 2 * #3 * #4；刀具有效切削直径（2DE）
N020　#38 = #8 - ABS［#25］ * TAN［#0 * PI/180］；工件跑道形锥槽左侧底圆弧半径
N025　#39 = #9 - ABS［#25］ * TAN［#0 * PI/180］；工件跑道形锥槽右侧底圆弧半径
N030　#21 = SQRT［#20 * #20 - ［#38 - #39］ * ［#38 - #39］］；计算两圆弧切线长度
N035　#22 = ATAN［［#38 - #39］/#21］；切线与 X 轴夹角
N040　#40 = INT［ABS［#25］/#18］；精加工分层切削次数取整
N045　#41 = #18 * TAN［#0 * PI/180］；精加工分层切削宽度
N050　IF#38LT#39；如果#38 小于#39，则程序跳转到 N075 程序段
N055　#15 = ［#38 - #3 - #10］/#12；（I - D - K）/（2DE）（左侧圆弧宽度切削次数计算）
N060　#14 = ［#39 - #3 - #10］/#15；（J - D - K）/#15（右侧圆弧切削均宽宽度）
N065　#15 = INT［#15］；取整（分层切削数取整）
N070　ELSE；程序跳转到 N090 程序段
N075　#15 = ［#39 - #3 - #10］/#12；（J - D - K）/（2DE）（右侧圆弧宽度切削次数计算）
N080　#14 = ［#38 - #3 - #10］/#15；（I - D - K）/#15（左侧圆弧切削均宽宽度）
N085　#15 = INT［#15］；取整（分层切削数取整）
　　　#13 = #12；
　　　#12 = #14；
　　　#14 = #13；
N090　ENDIF；
N095　G90　G00　X［#23］　Y［#24］；指令刀具移到工件左侧圆弧中心
N100　Z［#17］；刀具快速下降到工件上方安全距离

```
N105　G01　Z［#7 + #10］　F［#5/2］；刀具以工进速度下降
N110　WHILE #11GE#25；如果#11 小于#25，则程序跳转到 N215 程序段
N115　G02　I［#2］　Z［#11］　F［#5/4］；螺旋线进给切削
N120　#100 = 1；计数器置初始值
N125　WHILE　#100LE#15；如果#100 大于#15，则程序跳转到 N200 程序段
N130　#104 = #100 * #12；左侧圆弧分层逐次切削宽度
N135　#105 = #100 * #14；右侧圆弧分层逐次切削宽度
N140　#27 = #104 * SIN［#22 * PI/180］；左侧圆弧切点横坐标
N145　#28 = #104 * COS［#22 * PI/180］；左侧圆弧切点纵坐标
N150　#29 = #105 * SIN［#22 * PI/180］；右侧圆弧切点横坐标
N155　#30 = #105 * COS［#22 * PI/180］；右侧圆弧切点纵坐标
N160　G01　X［#23 + #20 + #105］　F［#5］；直线插补到右侧圆弧
N165　G02　X［#23 + #20 + #29］　Y［#24 - #30］　I［ - #105］　J0；沿跑道形锥槽
        内侧圆弧插补
N170　G01　X［#23 + #27］　Y［#24 - #28］；沿跑道形锥槽内侧轮廓直线插补
N175　G02　X［#23 + #27］　Y［#24 + #28］　I［ - #27］　J［#28］；沿跑道形锥槽内
        侧轮廓圆弧插补
N180　G01　X［#23 + #20 + #29］　Y［#24 + #30］；沿跑道形锥槽内侧轮廓直线插补
N185　G02　X［#23 + #20 + #105］　Y［#24］　I［ - #29］　J［ - #30］；沿跑道形锥
        槽圆弧插补
N190　#100 = #100 + 1；计数器加 1
N195　ENDW；返回循环体 2
N200　G01　X［#23］　Y［#24］；直线插补到左侧圆弧中心
N205　#11 = #11 - #16；变量（背吃刀量）等量（Q）减少
N210　ENDW；返回循环体 1
N215　G02　I［#2］　Z［#25］　F［#5/4］；螺旋线进给切削，进入跑道形锥槽底部
        精加工循环
N220　#100 = 1；计数器置初始值
N225　WHILE［#100LE#15］；如果#100 大于#15，则程序跳转到 N300 程序段
N230　#104 = #100 * #12；左侧圆弧分层逐次切削宽度
N235　#105 = #100 * #14；右侧圆弧分层逐次切削宽度
N240　#27 = #104 * SIN［#22 * PI/180］；左侧圆弧切点横坐标
N245　#28 = #104 * COS［#22 * PI/180］；左侧圆弧切点纵坐标
N250　#29 = #105 * SIN［#22 * PI/180］；右侧圆弧切点横坐标
N255　#30 = #105 * COS［#22 * PI/180］；右侧圆弧切点纵坐标
N260　G01　X［#23 + #20 + #105］　F［#5］；直线插补到右侧圆弧
N265　G02　X［#23 + #20 + #29］　Y［#24 - #30］　I［ - #105］　J0；沿跑道形锥槽
        内侧圆弧插补
N270　G01　X［#23 + #27］　Y［#24 - #28］；沿跑道形锥槽内侧轮廓直线插补
```

N275 G02 X［#23 + #27］ Y［#24 + #28］ I［ - #27］ J［#28］；沿跑道形锥槽内侧轮廓圆弧插补

N280 G01 X［#23 + #20 + #29］ Y［#24 + #30］；沿跑道形锥槽内侧轮廓直线插补

N285 G02 X［#23 + #20 + #105］ Y［#24］ I［ - #29］ J［ - #30］；沿跑道形锥槽圆弧插补

N290 #100 = #100 + 1；计数器加 1

N295 ENDW；返回循环体 3

N300 #100 = 1；计数器置初始值

N305 WHILE［#100LE#40］；如果#100 大于#40，则程序跳转到 N380 程序段

N310 G01 X［#23 + #20 + #39 - #3 - #2］ Y［#24 + #2］；跑道形锥槽侧面轮廓精加工

N315 G02 X［#23 + #20 + #39 - #3］ Y［#24］ R［#2］；圆弧切入

N320 G02 X［#23 + #20 + ［#39 - #3］ * SIN［#22 * PI/180］］ Y［#24 - ［#39 - #3］ * COS［#22 * PI/180］］ I［ - #39 + #3］ J0；沿跑道形锥槽侧面圆弧插补

N325 G01 X［#23 + ［#38 - #3］ * SIN［#22 * PI/180］］ Y［#24 - ［#38 - #3］ * COS［#22 * PI/180］］；沿跑道形锥槽侧面直线插补

N330 G02 X［#23 + ［#38 - #3］ * SIN［#22 * PI/180］］ Y［#24 + ［#38 - #3］ * COS［#22 * PI/180］］ I［ - ［#38 - #3］ * SIN［#22 * PI/180］］ J［［#38 - #3］ * COS［#22 * PI/180］；沿跑道形锥槽侧面圆弧插补

N335 G01 X［#23 + #20 + ［#39 - #3］ * SIN［#22 * PI/180］］ Y［#24 + ［#39 - #3］ * COS［#22 * PI/180］］；沿跑道形锥槽侧面直线插补

N340 G02 X［#23 + #20 + #39 - #3］ Y#24 I［ - ［#39 - #3］ * SIN［#22 * PI/180］ J［［#39 - #3］ * COS［#22 * PI/180］］；沿跑道形锥槽侧面圆弧插补

N345 G02 X［#23 + #20 + #39 - #3 - #2］ Y［#24 - #2］ R［#2］；圆弧切出

N350 #25 = #25 + #18；高度均值递增

N355 #38 = #38 + #41；跑道形锥槽左侧精加工的宽度均值递增

N360 #39 = #39 + #41；跑道形锥槽右侧精加工的宽度均值递增

N365 #100 = #100 + 1；计数器加 1

N370 G01 Z［#25］

N375 ENDW；返回循环体 4

N380 G01 X［#23］ Y［#24］；返回左侧圆弧中心

N385 G00 Z［#17 + 50］；抬刀

N390 M99；程序结束，返回调用程序

2. SINUMERIK 802D 数控系统铣削加工跑道形锥槽的用户 R 参数程序

R 参数含义：

R24 = X_0；X_0—工件跑道形锥槽左侧圆弧中心的横坐标绝对值

R25 = Y_0；Y_0—工件跑道形锥槽左侧圆弧中心的纵坐标绝对值

R26 = Z；Z—工件跑道形锥槽最终加工深度

R18 = R；R—刀具起始切削安全高度

R11 = H；H—螺旋线插补切削起始点 Z 轴绝对值坐标值

R4 = I；I—工件跑道形锥槽左侧圆弧半径
R5 = J；J—工件跑道形锥槽右侧圆弧半径
R21 = U；U—工件跑道形锥槽左右圆弧中心距
R7 = D；D—刀具半径
R9 = F；F—切削进给速度
R17 = Q；Q—工件跑道形锥槽粗加工Z轴每次下降层深度
R8 = E；E—有效刀具直径百分比
R3 = C；C—螺旋切削半径
R6 = K；K—精加工余量
R1 = A；A—锥槽的锥度
R19 = S；S—锥槽侧面精加工每次上升高度（S = 0.1 ~ 0.5mm）
L3363；R 参数程序名
N005　R16 = R11 - R17；首次螺旋下降深（H - Q）
N010　R12 = 2 * R7 * R8；刀具有效切削直径（2DE）
N020　R34 = R4 - ABS［R26］ * TAN［R1］；工件跑道形锥槽左侧底圆弧半径
N025　R35 = R5 - ABS［#26］ * TAN［R1］；工件跑道形锥槽右侧底圆弧半径
N030　R22 = SQRT［R21 * R21 - ［R34 - R35］ * ［R34 - R35］］；计算两圆弧切线长度
N035　R23 = ATAN［［R34 - R35］/R22］］；切线与X轴夹角
N040　R40 = TUNC［ABS［R26/R19］］；精加工分层切削次数取整
N045　R41 = R19 * TAN［R1］；精加工分层切削宽度
N050　IF R34 < = R35 GOTOF MARKE1；如果R34（左圆弧半径）小于或等于R35（右圆弧半径）时，则程序跳转到标志符MARKE1
N055　R15 = ［R34 - R7 - R6］/R12；（I′ - D - K）/（2DE）（左侧圆弧切削次数计算）
N060　R14 = ［R35 - R7 - R6］/R15；（J′ - D - K）/R15（右侧圆弧切削均宽宽度）
N065　R15 = TRUNC［R15］；取整（分层切削数取整）
N070　GOTOF MARKE2；无条件跳转到标志符MARKE2程序段
N075　MARKE1：R15 = ［R35 - R7 - R6］/R12；（J′ - D - K）/（2DE）（右圆弧切削次数计算）
N080　R14 = ［R34 - R7 - R6］/R15；（I′ - D - K）/R15（左侧圆弧切削均宽宽度）
N085　R15 = TRUNC［R15］；取整（分层切削数取整）
　　　R13 = R12；
　　　R12 = R14；
　　　R14 = R13；
N090　MARKE2：R101 = R12；将刀具有效切削直径值赋给中间变量R101
N095　G90　G00　X = R24　Y = R25；指令刀具移到工件左侧圆弧中心
N100　Z = R18；刀具快速下降到工件上方安全距离
N105　G01　Z = R11 + R6　F = R9/2；刀具以工进速度下降

```
N110 MARKE3：G02 I = R3 Z = R16 F = R9/4；螺旋线进给切削
N115 R100 = 1；计数器置初始值
N120 MARKE4：R104 = R100 * R12；左侧圆弧分层逐次切削宽度
N125 R105 = R100 * R14；右侧圆弧分层逐次切削宽度
N130 R27 = R104 * SIN [R23]；左侧圆弧切点横坐标
N135 R28 = R104 * COS [R23]；左侧圆弧切点纵坐标
N140 R29 = R105 * SIN [R23]；右侧圆弧切点横坐标
N145 R30 = R105 * COS [R23]；右侧圆弧切点纵坐标
N150 G01 X = R24 + R21 + R105 F = R9；直线插补到右侧圆弧
N155 G02 X = R24 + R21 + R29 Y = R25 - R30 I = - R105 J0；沿跑道形锥槽内侧
     轮廓圆弧插补
N160 G01 X = R24 + R27 Y = R25 - R28；沿跑道形锥槽内侧面直线插补
N165 G02 X = R24 + R27 Y = R25 + R28 I = - R27 J = R28；沿跑道形锥槽内侧面
     圆弧插补
N170 G01 X = R24 + R21 + R29 Y = R25 + R30；沿跑道形锥槽内侧面直线插补
N175 G02 X = R24 + R21 + R105 Y = 25 I = - R29 J = - R30；沿跑道形锥槽内侧
     面圆弧插补
N180 R100 = R100 + 1；计数器加 1
N185 IF R100 < = R15 GOTOB MARKE4；如果 R100 小于或等于 R15 时，则程序跳转到
     标志符 MARKE4 程序段
N190 G01 X = R24 Y = R25；直线插补到左侧圆弧中心
N195 R16 = R16 - R17；变量（背吃刀量）等量（Q）减少
N200 IF R16 > = R26 GOTOB MARKE3；如果 R16 大于或等于 R26，则程序跳转到标志
     符 MARKE3 程序段
N205 G02 I = R3 Z = R26 F = R9/4；螺旋线进给切削，进入跑道形锥槽底部精加工
     循环
N210 R100 = 1；计数器置初始值
N215 MARKE5：R104 = R100 * R12；左侧圆弧分层逐次切削宽度
N220 R105 = R100 * R14；右侧圆弧分层逐次切削宽度
N230 R27 = R104 * SIN [R23]；左侧圆弧切点横坐标
N235 R28 = R104 * COS [R23]；左侧圆弧切点纵坐标
N240 R29 = R105 * SIN [R23]；右侧圆弧切点横坐标
N245 R30 = R105 * COS [R23]；右侧圆弧切点纵坐标
N250 G01 X = R24 + R21 + R105 F = R9；直线插补到右侧圆弧
N255 G02 X = R24 + R21 + R29 Y = R25 - R30 I = - R105 J0；沿跑道形锥槽内侧
     轮廓圆弧插补
N260 G01 X = R24 + R27 Y = R25 - R28；沿跑道形锥槽内侧轮廓直线插补
N265 G02 X = R24 + R27 Y = R25 + R28 I = - R27 J = R28；沿跑道形锥槽内侧轮
     廓圆弧插补
```

N270　G01　X = R24 + R21 + R29　Y = R25 + R30；沿跑道形锥槽内侧轮廓直线插补

N275　G02　X = R24 + R21 + R105　Y = R25　I = －R29　J = －R30；沿跑道形锥槽圆弧插补

N280　R100 = R100 + 1；计数器加 1

N285　IF R100 < = R15 GOTOB MARKE5；如果 R100 小于或等于 R15 时，则程序跳转到标志符 MARKE5 程序段

N290　R100 = 1；计数器置初始值

N295　MARKE6：G01　X = R24 + R21 + R35 – R7 – R3　Y = R25 + R3；跑道形锥槽侧面轮廓精加工（进入锥槽侧面精加工循环）

N300　G02　X = R24 + R21 + R35 – R7　Y = R25　CR = R3；圆弧切入

N305　G02　X = R24 + R21 + [R35 – R7] * SIN [R23]　Y = R25 – [R35 – R7] * COS [R23]　I = – R35 + R7 J0；沿跑道形锥槽侧面圆弧插补

N310　G01　X = R24 + [R34 – R7] * SIN [R23]　Y = R25 – [R34 – R7] * COS [R23]；沿跑道形锥槽侧面直线插补

N315　G02　X = R24 + [R34 – R7] * SIN [R23]　Y = R25 + [R34 – R7] * COS [R23]　I = – [R34 – R7] * SIN [R23] J = [R34 – R7] * COS [R23]；沿跑道形锥槽侧面圆弧插补

N320　G01　X = R24 + R21 + [R35 – R37] * SIN [R23]　Y = R25 + [R35 – R7] * COS [R23]；沿跑道形锥槽侧面直线插补

N325　G02　X = – R24 + R21 + R35 – #R7　Y = R25　I = – [R35 – R7] * SIN [R23] J = [[R35 – R7] * COS [R23]；沿跑道形锥槽侧面圆弧插补

N330　G02　X = R24 + R21 + R35 – R7 – R3　Y = R25 – R3　CR = R3；圆弧切出

N325　R25 = R25 + R19；高度均值递增

N330　R34 = R34 + R41；跑道形锥槽左侧精加工的宽度均值递增

N340　R35 = R35 + R41；跑道形锥槽右侧精加工的宽度均值递增

N345　R100 = R100 + 1；计数器加 1

N350　G01　Z [#25]

N355　IF R100 < = R40 GOTOB MARKE6；如果 R100 小于或等于 R40 时，则程序跳转到标志符 MARKE6 程序段

N360　G01　X = R24　Y = R25；返回左侧圆弧中心

N365　G00　Z = R18 + 50；抬刀

N370　RET；R 参数子程序结束，返回调用程序

3. FANUC 0i 数控系统铣削加工跑道形锥槽的用户宏程序

自变量含义：

#24 = X_0；X_0—工件跑道形锥槽左侧圆弧中心的横坐标绝对值

#25 = Y_0；Y_0—工件跑道形锥槽左侧圆弧中心的纵坐标绝对值

#26 = Z_0；Z_0—工件跑道形锥槽最终加工深度

#18 = R；R—刀具起始切削安全高度
#11 = H；H—螺旋线插补切削起始点 Z 轴绝对值坐标值
#4 = I；I—工件跑道形锥槽左侧圆弧半径
#5 = J；J—工件跑道形锥槽右侧圆弧半径
#21 = U；U—工件跑道形锥槽左右圆弧中心距
#7 = D；D—刀具半径
#9 = F；F—切削进给速度
#17 = Q；Q—工件跑道形锥槽粗加工 Z 轴每次降层深度
#19 = S；S—锥槽侧面精加工每次上升高度（S = 0.1 ~ 0.5mm）
#8 = E；E—有效刀具直径百分比
#3 = C；C—螺旋切削半径
#6 = K；K—精加工余量
#1 = A；A—锥槽的锥度
O3363；宏程序名
N005 #16 = #11 - #17；首次螺旋下降深（H - Q）
N010 #12 = 2 * #7 * #8；刀具有效切削直径（2DE）
N020 #34 = #4 - ABS［#26］ * TAN［#1］；工件跑道形锥槽左侧底圆弧半径
N025 #35 = #5 - ABS［#26］ * TAN［#1］；工件跑道形锥槽右侧底圆弧半径
N030 #22 = SQRT［#21 * #21 - ［#34 - #35］ * ［#34 - #35］］；计算两圆弧切线长度
N035 #23 = ATAN［［#34 - #35］/#22］；切线与 X 轴夹角
N040 #40 = FUP［ABS［#26］/#19］；精加工分层切削次数上取整
N045 #41 = #19 * TAN［#1］；精加工分层切削宽度
N050 IF［#34LT#35］GOTO 075；如果#34 小于#35，则程序跳转到 N075 程序段
N055 #15 = ［#34 - #7 - #6］/#12；（I′ - D - K）/（2DE）（左侧圆弧切削次数计算）
N060 #14 = ［#35 - #7 - #6］/#15；（J′ - D - K）/#15（右侧圆弧切削均宽宽度）
N065 #15 = FIX［#15］；上取整（分层切削数取整）
N070 GOTO 090；程序跳转到 N090 程序段
N075 #15 = ［#35 - #7 - #6］/#12；（J′ - D - K）/（2DE）（右侧圆弧切削次数计算）
N080 #14 = ［#34 - #7 - #6］/#15；（I′ - D - K）/#15（左侧圆弧切削均宽宽度）
N085 #15 = FIX［#15］；上取整（分层切削数取整）
#13 = #12；
#12 = #14；
#14 = #13；
N090 G90 G00 X#24 Y#25；指令刀具移到工件左侧圆弧中心
N095 Z#18；刀具快速下降到工件上方安全距离
N100 G01 Z［#11 + #6］ F［#9/2］；刀具以工进速度下降
N105 WHILE［#16GE#26］DO 1；如果#16 小于#26，则程序跳转至 N210 程序段
N110 G02 I#3 Z#16 F［#9/4］；螺旋线进给切削
N115 #100 = 1；计数器置初始值

```
N120　WHILE［#100LE#15］DO 2；如果#100 大于#15，则程序跳转至 N195 程序段
N125　#104 = #100 * #12；大圆弧分层逐次切削宽度
N130　#105 = #100 * #14；小圆弧分层逐次切削宽度
N135　#27 = #104 * SIN［#23］；大圆弧切点横坐标
N140　#28 = #104 * COS［#23］；大圆弧切点纵坐标
N145　#29 = #105 * SIN［#23］；小圆弧切点横坐标
N150　#30 = #105 * COS［#23］；小圆弧切点纵坐标
N155　G01　X［#24 + #21 + #105］　F#9；直线插补到右侧圆弧
N160　G02　X［#24 + #21 + #29］　Y［#25 - #30］　I - #105　J0；沿跑道形锥槽内侧轮廓圆弧插补
N165　G01　X［#24 + #27］　Y［#25 - #28］；沿跑道形锥槽内侧轮廓直线插补
N170　G02　X［#24 + #27］　Y［#25 + #28］　I - #27　J#28；沿跑道形锥槽内侧轮廓圆弧插补
N175　G01　X［#24 + #21 + #29］　Y［#25 + #30］；沿跑道形锥槽内侧轮廓直线插补
N180　G02　X［#24 + #21 + #105］　Y#25　I - #29　J - #30；沿跑道形锥槽内侧圆弧插补
N185　#100 = #100 + 1；计数器加 1
N190　END2；返回循环体 2
N195　G01　X#24　Y#25；直线插补到左侧圆弧中心
N200　#16 = #16 - #17；变量（背吃刀量）等量（Q）减少
N205　END1；返回循环体 1
N210　G02　I#3　Z#26　F［#9/4］；螺旋线进给切削，进入跑道形锥槽底部精加工
N215　#100 = 1；计数器置初始值
N220　WHILE［#100LE#15］DO3；如果#100 大于#15，则程序跳转至 N300 程序段
N225　#104 = #100 * #12；大圆弧分层逐次切削宽
N230　#105 = #100 * #14；小圆弧分层逐次切削宽度
N235　#27 = #104 * SIN［#23］；大圆弧切点横坐标
N240　#28 = #104 * COS［#23］；大圆弧切点纵坐标
N245　#29 = #105 * SIN［#23］；小圆弧切点横坐标
N250　#30 = #105 * COS［#23］；小圆弧切点纵坐标
N260　G01　X［#24 + #21 + #105］　F#9；直线插补到右侧圆弧
N265　G02　X［#24 + #21 + #29］　Y［#25 - #30］　I - #105　J0；沿跑道形锥槽内侧轮廓圆弧插补
N270　G01　X［#24 + #27］Y［#25 - #28］；沿跑道形锥槽内侧轮廓直线插补
N275　G02　X［#24 + #27］Y［#25 + #28］　I - #27　J#28；沿跑道形锥槽内侧轮廓圆弧插补
N280　G01　X［#24 + #21 + #29］　Y［#25 + #30］；沿跑道形锥槽内侧轮廓直线插补
N285　G02　X［#24 + #21 + #105］　Y#25　I - #29　J - #30；沿跑道形锥槽内侧圆弧插补
```

N290 #100 =#100 +1；计数器加 1
N295 END3；返回循环体 3
N300 #100 =1；计数器置初始值
N305 WHILE［#100LE#40］DO1：如果#100 大于#40，则程序跳转至 N380 程序段
N310 G01 X［#24 +#21 +#35 -#7 -#3］ Y［#25 +#3］ F［#9/2］；直线插补到切入圆起点（进入锥槽侧面精加工循环）
N315 G02 X［#24 +#21 +#35 -#7］ Y#25 R#3；圆弧切入
N320 G02 X［#24 +#21 +［#35 -#7］ * SIN［#23］］ Y［#25 -［#35 -#7］ * COS［#23］］ I［-#35 +#7］ J0；沿跑道形锥槽侧面圆弧插补
N325 G01 X［#24 +［#34 -#7］ * SIN［#23］ Y［#25 -［#34 -#7］ * COS［#23］］；沿跑道形锥槽侧面直线插补
N330 G02 X［#24 +［#34 -#7］ * SIN［#23］］ Y［#25 +［#34 -#7］ * COS［#23］］ I［-［#34 -#7］ * SIN［#23］］ J［［#34 -#7］ * COS［#23］］；沿跑道形锥槽侧面圆弧插补
N335 G01 X［#24 +#21 +［#35 -#7］ * SIN［#23］ Y［#25 +［#35 -#7］ * COS［#23］］；沿跑道形锥槽侧面直线插补
N340 G02 X［#24 +#21 +#35 -#7］ Y#25 I［-［#35 -#7］ * SIN［#23］］ J［［#35 -#7］ * COS［#23］］；沿跑道形锥槽侧面圆弧插补
N345 G02 X［#24 +#21 +#35 -#7 -#3］ Y［#25 -#3］ R#3；圆弧切出
N350 #25 =#25 +#19；高度均值递增
N355 #34 =#34 +#41；跑道形锥槽精加工的宽度均值递增
N360 #35 =#35 +#41；跑道形锥槽精加工的宽度均值递增
N365 #100 =#100 +1；计数器加 1
N370 G01 Z［#25］
N375 END1；返回循环体 1
N380 G01 X#24 Y#25；返回左侧圆弧中心
N385 G00 Z［#18 +50］；抬刀
N390 M99；程序结束，返回调用程序

注意：

1）刀具半径值 D 必须小于或等于跑道形锥槽小圆弧半径 I 或 J。
2）R、H、Z 的设定值必须遵守：Z < H < R。
3）有效切削刀具直径百分比 E 不可大于 1.0。
4）精加工余量 K 不能大于 Q（0≤K≤Q≤H -Z）。
5）每层加工深度 Q 不能大于零件总加工厚度（R -Z），关系（0≤K≤Q≤H -Z）。
6）刀具半径值必须大于 0。
7）程序中没有使用刀具半径补偿指令 G41、G42、G40。

4. 编程实例

在图 3-85 所示零件上铣削跑道形锥槽，跑道形锥槽左侧圆弧半径为 100. 0mm，跑道形锥槽右侧圆弧半径为 80. 0mm，两圆弧中心距为 280. 0mm，锥槽的锥度为 34°，跑道形锥槽深 20. 0mm。

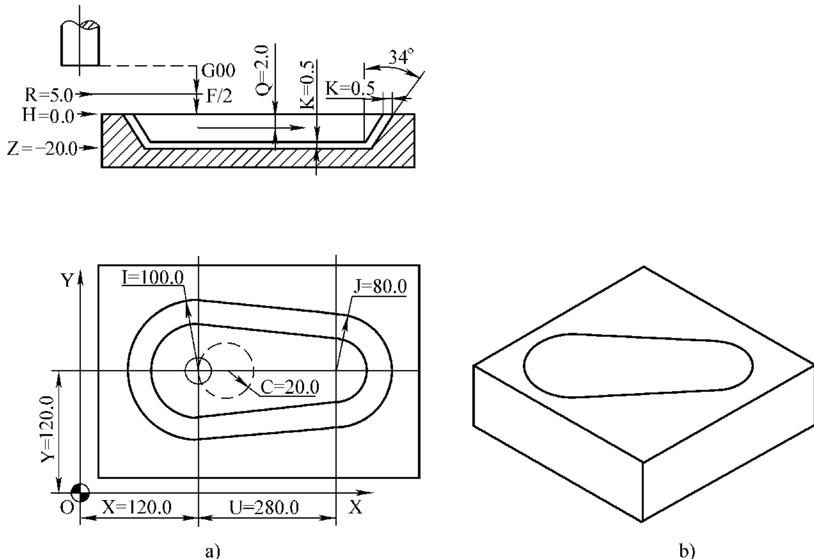


图 3-85　跑道形锥槽铣削编程实例零件刀具路线示意图
a）尺寸图　b）效果图

解：

（1）工艺设计　建立工件坐标系，确定跑道形锥槽左侧圆弧中心的工件绝对坐标为（120. 0，120. 0），工件表面为工件坐标系 Z 轴的零点，机床坐标系偏置值设置在 G54 寄存器中。

（2）加工顺序　螺旋下降分层粗铣跑道形锥槽，精加工锥槽底部，精加工跑道形锥槽侧面。

采用不对称顺铣方式铣削跑道形锥槽，螺旋下降分层粗铣跑道形锥槽时，Z 轴每次等高下降背吃刀量 Q 定为 2. 0mm；锥槽底部和锥槽侧面的精加工余量 K 定为 0. 5mm；跑道形锥槽侧面精加工时，每次等高上升高度 S 为 0. 5mm。

铣刀直径为 32mm，主轴转速为 500r/min，铣削进给速度为 150mm/min，主轴起始位置在零件上方 50. 0mm 处，螺旋线插补半径为 20. 0mm，刀具起始切削安全高度在零件上方 5. 0mm 处，Z 轴每次下降背吃刀量为 2. 0mm，有效切削刀具直径百分比为 0. 7，精加工余量为 0. 5mm。

（3）零件加工程序

1）HNC—21/22M 华中世纪星数控系统。

主程序如下：

O××××；文件名

%××××；程序号

N10　T01　M06；调用 1 号刀

N15 G17 G90 G21 G94 G54 G40 G49 G80；程序运行初始状态设置
N20 G43 G00 Z50.0 H01 S500 M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为500r/min
N25 X0.0 Y0.0 M07；刀具快速移动到工件坐标零点，打开切削液
N30 M98 P3363 X120.0 Y120.0 Z-20.0 R5.0 H0. U280.0 I100.0 J80.0 D16.0 F150. Q2.0 E0.7 A34 S0.2 C20.0 K0.5；调用加工跑道形锥槽侧面的宏程序
N35 G00 Z100.0 M09 ；刀具退到工件上表面100mm处，切削液关闭
N40 G49；取消刀具长度补偿
N45 X0 Y0 M05；刀具退回工件坐标零点，主轴停止
N50 M30；程序结束并返回程序开头
%3363；跑道形锥槽侧面铣削宏程序（见上）
⋮
M99；子程序结束并返回主程序

2）SINUMERIK 802D 数控系统。

主程序如下：

FZG××××；程序名
N10 T1 D1；调用1号刀
N15 G17 G90 G71 G94 G54 G40；程序运行初始状态设置
N20 G00 Z50.0 S500 M03；主轴正转，转速为500r/min
N25 X0.0 Y0.0 M07；刀具快速移动到工件坐标零点，打开切削液
N30 R24=120.0；工件跑道形锥槽左侧圆弧中心的横坐标绝对值
R25=120.0；工件跑道形锥槽左侧圆弧中心的纵坐标绝对值
R26=-20.0；工件跑道形锥槽最终加工深度
R18=5.0；刀具起始切削安全高度
R11=0；螺旋线插补切削起始点Z轴绝对值坐标值
R4=100.0；工件跑道形锥槽左侧圆弧半径
R5=80.0；工件跑道形锥槽右侧圆弧半径
R21=280.0；圆弧中心距
R7=16.0；刀具半径
R9=150.0；切削进给速度
R17=2.0；Z轴每次下降背吃刀量
R8=0.7；有效刀具直径百分比
R3=20.0；螺旋切削半径
R6=0.5；精加工余量
R19=0.2；锥槽侧面精加工每次上升高度
R1=34；锥槽的锥度
N35 L3363；调用加工跑道形锥槽的R参数子程序
N40 G00 Z100.0 M09；刀具退到工件上表面100mm处，冷却液关闭

N45　X0　Y0　M05；刀具退回工件坐标零点，主轴停止
N48　D00；取消刀具长度补偿
N50　M02；程序结束并返回程序开头
L3363；跑道形锥槽侧面铣削 R 参数子程序（见上）
⋮
RET；R 参数子程序结束并返回主程序

3）FANUC 0i 数控系统。

主程序如下：

O××××；程序名
N10　T01　M06；调用 1 号刀
N15　G17　G90　G21　G94　G54　G40　G49　G80；工艺加工状态设置
N20　G43　G00　Z50.0　H01　S500　M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为 500r/min
N25　X0.0　Y0.0　M07；刀具快速移动到工件坐标零点，打开切削液
N30　G65　P3363　X120.0　Y120.0　Z－20.0　R5.0　H0.　U280.0　I100.0　J80.0　D16.0　F150.Q2.0　E0.7　A34　S0.2　C20.0　K0.5；调用加工跑道形锥槽侧面的宏程序
N35　G00　Z100.0　M09；刀具退到工件上表面 100mm 处，切削液关闭
N40　G49；取消刀具长度补偿
N45　X0　Y0　M05；刀具退回工件坐标零点，主轴停止
N50　M30；程序结束并返回程序开头
O3363；跑道形锥槽侧面铣削宏程序（见上）
⋮
M99；子程序结束并返回主程序

3.3.7　非圆锥曲线类零件的宏程序编程实例

3.3.7.1　椭圆类零件曲面的宏程序编程

编制图 3-86 所示铣削椭圆类零件的曲面通用程序。假设椭圆的长半轴为 a、短半轴为 b，椭圆长轴与 X 轴的夹角为 β，椭圆的参数方程为 X＝acos（β）、Y＝bsin（β），最终加工深度为 h。

工艺分析：加工此类零件曲面，一般先将工件坐标原点偏置到椭圆中心，再将工件坐标系进行旋转，与椭圆对称轴重合；采用直线逼近（也叫拟合）在椭圆上以角度分段，以 1°～5°为一个步距，并把角度作为自变量。为了适应不同的椭圆（即不同的长短轴）、不同的起始点和不同的步距，下面编制一个只用变量不用具体数值的宏程序，然后在主程序中呼出该宏程序的用户宏指令段为上述变量赋值。这样，对于不同的椭圆、不同的起始点和不同的步距，不必更改宏程序，而只需修改主程序中用户宏指令段内的赋值数据就可以了。注意：为了保证椭圆曲面的精度，以角度为循环条件的判断，使每循环一次的角度变化为均值。假设刀具切削选择不对称顺铣方式（逆时针）。

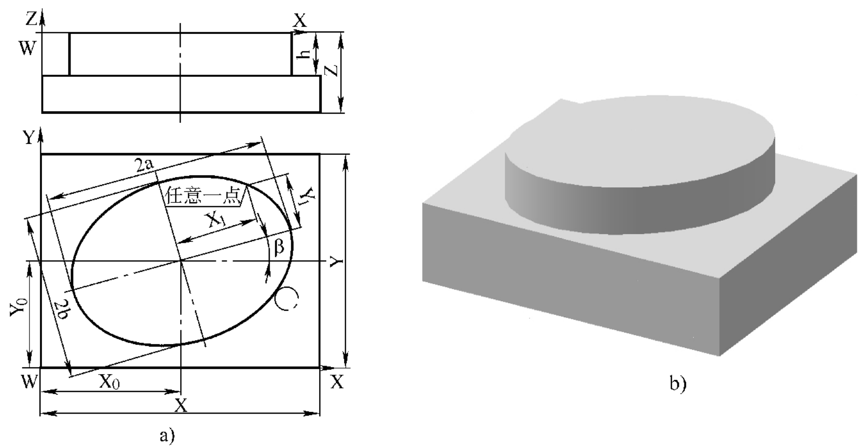


图 3-86　铣削加工椭圆类零件示意图
a) 零件图　b) 效果图

由以上工艺分析，可画出图 3-87 所示该宏程序的结构流程框图。

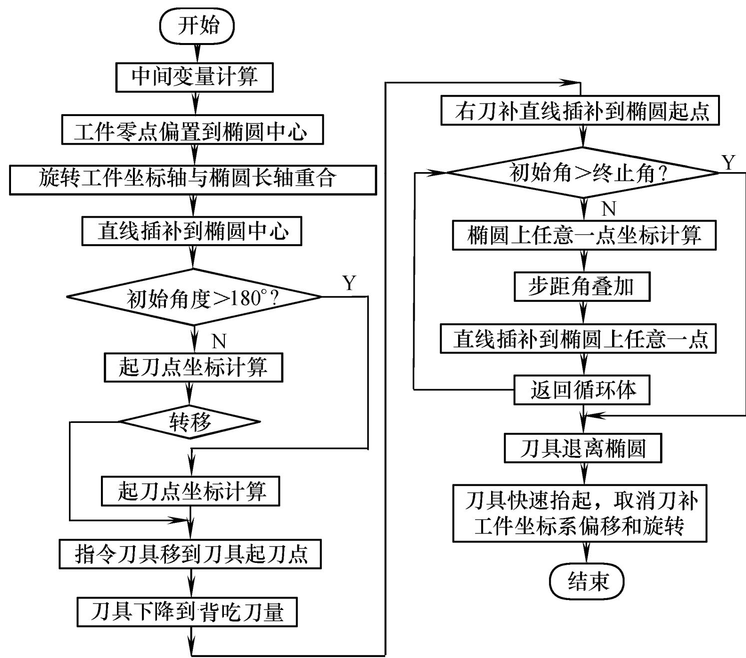


图 3-87　椭圆类零件曲面宏程序的结构流程框图

1. HNC—21/22M 华中世纪星数控系统对铣削椭圆类零件的曲面用户宏程序

局部变量含义：

#23 = X_0；X_0—椭圆中心的工件坐标横向绝对坐标值

#24 = Y_0；Y_0—椭圆中心的工件坐标纵向绝对坐标值

#7 = h；h—最终加工深度

#17 = R；R—安全高度

#0 = a；a—长半轴
#1 = b；b—短半轴
#2 = β；β—椭圆长轴与 X 轴的夹角
#3 = D；D—刀具半径
#5 = F；F—进给速度
#8 = α；α—初始角度
#9 = γ；γ—终止角度
#10 = K；K—角度步长
%3371；宏程序号
N010　#30 = #0 * COS[[#8 - 1] * P1/180]；椭圆曲线起点延长线上的 X 绝对坐标值(X = aCOS(α - 1))
N015　#31 = #1 * SIN[[#8 - 1] * PI/180]；椭圆曲线起点延长线上的 Y 绝对坐标值(Y = bSIN(α - 1))
N020　#33 = #0 * COS[[#9 + 1] * P1/180]；椭圆曲线终点延长线上的 X 绝对坐标值(Y = bSIN(γ + 1))
N025　#34 = #1 * SIN[[#9 + 1] * P1/180]；椭圆曲线终点延长线的 Y 绝对坐标值(Y = bSIN(γ + 1))
N028　#101 = #3；将刀具半径值赋给中间变量#101
N030　G68　X[#23]　Y[#24]　P[#2]；以椭圆中心为旋转中心，将工件坐标系旋转 β
N035　G00　X[#23 + 2 * #30]　Y[#24 + #31]；指令刀具移到刀具起刀点
N040　Z[#17]；刀具快速下降到工件上方安全距离
N045　G01　Z[#7]　F[3 * #5]；刀具以工进速度下降到最终加工深度
N050　G64　G42　G01　X[#23 + #30]　F[3 * #5]　D101；右刀补到椭圆起点
N055　WHILE　#8LE#9；如果#8(初始角度)大于#9(终止角度)，则跳转到 N085 程序段
N060　#30 = #0 * COS[#8 * PI/180]；椭圆曲线上任意一点的 X 绝对坐标值 X = aCOSα
N065　#31 = #1 * SIN[#8 * PI/180]；椭圆曲线上任意一点的 Y 绝对坐标值 Y = bSINα
N070　G64　G01　X[#23 + #30]　Y[#24 + #31]　F[#5]；铣刀沿着椭圆曲线直线插补
N075　#8 = #8 + #10；角步距均值递增
N080　ENDW；返回循环体
N085　G01　X[#23 + #33]　Y[#24 + #34]　F[#5]；沿椭圆终点延长线切出
N090　G00　Z100；快速抬刀
N095　G40　X[#23 + 2 * #0]；取消刀具补偿，快速退到工件一侧
N100　G69；取消坐标系旋转
N105　M99；子程序结束并返回主程序

2. SINUMERIK 802D 数控系统对铣削椭圆类零件的曲面用户 R 参数程序

R 参数含义：
R24 = X_0；X_0—椭圆中心的工件坐标横向绝对坐标值
R25 = Y_0；Y_0—椭圆中心的工件坐标纵向绝对坐标值
R11 = h；h—最终加工深度

R18 = R；R—安全高度
R1 = a；a—长半轴
R2 = b；b—短半轴
R3 = β；β—椭圆长轴与 X 轴的夹角
R4 = α；α—初始角度
R5 = γ；γ—终止角度
R6 = K；K—角度步长
R7 = D；D—刀具半径
R9 = F；F—进给速度
L3371. SPF；R 参数程序名

```
N010  R30 = R1 * COS[R4 - 1]；椭圆曲线起点延长线上的 X 绝对坐标值(X = aCOS(α - 1))
N015  R31 = R2 * SIN[R4 - 1]；椭圆曲线起点延长线上的 Y 绝对坐标值(Y = bSIN(α - 1))
N020  R33 = R1 * COS[R5 + 1]；椭圆曲线终点延长线上 X 绝对坐标值(X = aSIN(γ - 1))
N025  R34 = R2 * SIN[R5 + 1]；椭圆曲线终点延长线上 Y 绝对坐标值(Y = bSIN(γ - 1))
N028  R101 = R7；将刀具半径值赋给中间变量 R101
N030  TRANS X = R24  Y = R25；建立局部工件坐标系
N035  AROT RPL = R3；以椭圆中心为旋转中心，将工件坐标轴旋转 β
N040  G90  G00  X = 2 * R30  Y = R31；指令刀具移到刀具起刀点
N045  Z = R18；刀具快速下降到工件上方安全距离
N050  G01  Z = R11  F = 3 * R9；刀具以工进速度下降到最终加工深度
N055  G64  G42  G01  X = R30  Y = R31  F = 3 * R9  D = R101；右刀补到椭圆起点
N060  MARKE1：R30 = R1 * COS[R4]；椭圆曲线上任意一点的 X 绝对坐标值 X = aCOSα
N065  R31 = R2 * SIN[R4]；椭圆曲线上任意一点的 Y 绝对坐标值 Y = bSINα
N070  G64  X = R30  Y = R31；铣刀沿着椭圆曲线直线插补
N075  R4 = R4 + R6；角步距均值递增
N080  IF R4 < = R5 GOTOB MARKE1；如果 R4(初始角度)小于或等于 R5(终止角度)，则程序跳转到标志符 MARKE1 程序段
N085  G01  X = R33  Y = R34  F = R9；沿椭圆终点延长线切出
N090  G00  Z100；快速抬刀
N095  G40  X = 2 * R1；取消刀具补偿，快速退到工件一侧
N100  TRANS；取消坐标系偏移和旋转
N105  RET；R 参数子程序结束并返回主程序
```

3. FANUC 0i 数控系统对铣削椭圆类零件的曲面用户宏程序

自变量含义：

#24 = X_0；X_0—椭圆中心的工件坐标横向绝对坐标值

#25 = Y_0;Y_0—椭圆中心的工件坐标纵向绝对坐标值
#11 = h;h—最终加工深度
#18 = R;R—安全高度
#1 = a;a—长半轴
#2 = b;b—短半轴
#3 = β;β—椭圆长轴与 X 轴的夹角
#4 = α;α—初始角度
#5 = γ;γ—终止角度
#6 = K;K—角度步长
#7 = D;D—刀具半径
#9 = F;F—进给速度
O3371;宏程序名

```
N010  #30 = #1 * COS[#4 - 1]; 椭圆曲线起点延长线上的 X 绝对坐标值 (X = aCOS(α - 1))
N015  #31 = #2 * SIN[#4 - 1]; 椭圆曲线起点延长线上的 Y 绝对坐标值 (Y = bSIN(α - 1))
N020  #33 = #1 * COS[#5 + 1]; 椭圆曲线终点延长线上的 X 绝对坐标值 (Y = aCOS(γ + 1))
N025  #34 = #2 * SIN[#5 + 1]; 椭圆曲线终点延长线的 Y 绝对坐标值 (Y = bSIN(γ + 1))
N030  #101 = #7; 将刀具半径值赋给中间变量#101
N035  G52  X#24  Y#25; 建立局部工件系
N040  G68  X0  Y0  R#3; 以椭圆中心为旋转中心，将工件坐标系旋转 β
N045  G90  G00  X[2 * #30]  Y#31; 指令刀具移到刀具起刀点
N050  Z#18; 刀具快速下降到工件上方安全距离
N055  G01  Z#11  F[3 * #9]; 刀具以工进速度下降到最终加工深度
N060  G64  G42  G01  X#30  Y#31  F#9  D101; 右刀补到椭圆起点
N065  WHILE  [#4LE#5]  DO 1; 如果#4 大于#5，则程序跳转到 N095 程序段
N070  #30 = #1 * cos[#4]; 椭圆曲线上任意一点的 X 绝对坐标值 X = acosα
N075  #31 = #2 * sin[#4]; 椭圆曲线上任意一点的 Y 绝对坐标值 Y = bsinα
N080  G64  X#30  Y#31; 铣刀沿着椭圆曲线直线插补
N085  #4 = #4 + #6; 角步距均值递增
N090  END1; 返回循环体
N095  G01  X#33  Y#34  F#9; 沿椭圆终点延长线切出
N100  G00  Z100; 快速抬刀
N105  G40  X[2 * #1]; 取消刀具补偿，快速退到工件一侧
N110  G69; 取消坐标系旋转
N115  G52  X0  Y0; 取消局部坐标系
N120  M99; 子程序结束并返回主程序
```

4. 编程实例

在铣床或加工中心上加工图 3-88 所示椭圆零件的曲面，椭圆长半轴为 35.0mm，椭圆短半轴为 20.0mm，深度为 10.0mm，椭圆长轴与零件侧面的夹角为 45°；零件毛坯尺寸（长×宽×高）为 80mm×80mm×30mm。试用变量(或参数）编写出加工此类零件的宏程序。

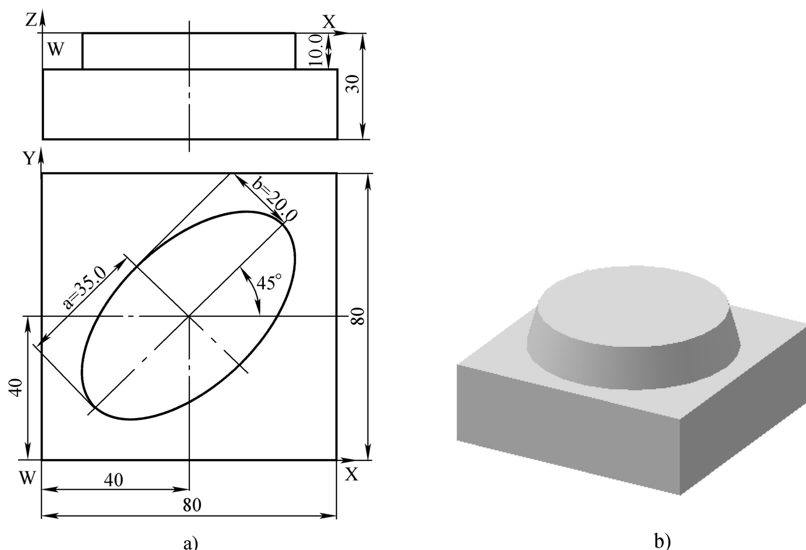


图 3-88　椭圆零件铣削加工编程实例
a）尺寸图　b）效果图

解：

（1）工艺设计　建立工件坐标系，确定椭圆零件的左下角为工件坐标系 X、Y 轴的零点，工件表面为工件坐标系 Z 轴的零点，机床坐标系偏置值设置在 G54 寄存器中。

（2）加工顺序　先用 ϕ25mm 立铣刀粗加工椭圆周围的余量，再用 ϕ16mm 的立铣刀粗、精加工椭圆曲面。

加工椭圆时，先将工件坐标原点偏置到椭圆中心，再将工件坐标系旋转 45°；根据椭圆参数方程(X = aCOS(α)，Y = bSIN(α))，采用直线逼近(也叫拟合)，在椭圆上以角度分段，粗加工时以 5°为一个步距，精加工时以 2°为一个步距，并把角度作为自变量，然后在主程序中呼出该宏程序的用户宏指令段为上述变量赋值。

粗、精加工都采用不对称顺铣削方式。粗加工时，主轴转速 400r/min，铣削进给速度 120mm/min；精加工时，主轴转速 600r/min，铣削进给速度 100mm/min。主轴起始位置在零件上方 50.0mm 处，刀具起始切削安全高度在零件上方 2.0mm 处，精加工余量为 0.5mm。

（3）零件加工程序

1）HNC—21/22M 华中世纪星数控系统。

主程序如下：

O××××；文件名
%××××；程序号
N10　T01　M06；调用 1 号刀（ϕ25mm 立铣刀）
N15　G17　G90　G21　G94　G54　G40　G49　G80；程序运行初始状态设置
N20　G43　G00　Z50.0　H01　S400　M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为 400r/min
N25　X0.0　Y0.0　M07　D01；刀具快速移动到工件坐标零点，打开切削液
N30　M98　P0730；调用去余量粗加工子程序
N35　M06　T02；调用 2 号刀（ϕ16mm 立铣刀）
N40　G43　G00　Z50.0　H02　S500　M03　D02；
N45　M98　P3371　X40.0　Y40.0　H－10.0　R2.0　A35.0　B20.0　C45.0　I0.0　J360.0　K5.0　D8.0　F150.0；调用椭圆类零件曲面加工程序进行椭圆粗加工
N50　S600　M03　D03；主轴正转，转速为 600r/min，3 号刀补
N55　M98　P3371　X40.0　Y40.0　H－10.0　R2.0　A35.0　B20.0　C45.0　I0.0　J360.0　K2.0　D8.0　F100.0；调用椭圆类零件曲面加工程序进行椭圆精加工
N60　G00　Z100.0　M09；刀具退到工件上表面 100mm 处，切削液关闭
N65　G49；取消刀具长度补偿
N70　X0　Y0　M05；刀具退回工件坐标零点，主轴停止
N75　M30；程序结束并返回程序开头
%0730；去余量粗加工子程序（略）
⋮
M99；子程序结束，返回主程序
%3371；椭圆类零件曲面加工程序（见上）
⋮
M99；子程序结束，返回主程序

2）SINUMERIK 802D 数控系统。

主程序如下：

FZG××××；程序名
N10　M06　T1　D1；调用 1 号刀（ϕ25mm 立铣刀）
N15　G17　G90　G71　G94　G54　G40；程序运行初始状态设置
N20　G00　Z50.0　S400　M03；主轴正转，转速为 400r/min
N25　X0.0　Y0.0　M07；刀具快速移动到工件坐标零点，打开切削液
N30　L0730；调用去余量粗加工子程序
N35　M06　T2　D1；调用 2 号刀（ϕ16mm 立铣刀）
N40　G00　Z50.0　S400　M03；主轴正转，转速为 400r/min
N45　R24＝40.0；椭圆中心的工件坐标横向绝对坐标值
　　R25＝40.0；椭圆中心的工件坐标纵向绝对坐标值
　　R11＝－10.0；最终加工深度
　　R18＝2.0；安全高度

```
        R1 =35.0；长半轴
        R2 =20.0；短半轴
        R3 =45.0；椭圆长轴与 X 轴的夹角
        R4 =0；初始角度
        R5 =360.0；终止角度
        R6 =5.0；角度步长
        R7 =7.0；刀具半径
        R9 =150.0；进给速度
N55   L3371；调用椭圆类零件曲面加工程序进行椭圆粗加工
N60   M03   S600   D02；主轴正转，转速为 600r/min，2 号刀补
N65   R9 =100.0   R6 =2.0；R 参数设置
N70   L3371；调用椭圆类零件曲面加工程序进行椭圆精加工
N75   G00   Z100.0   M09；刀具退到工件上表面 100mm 处，切削液关闭
N80   X0   Y0   M05 D0；刀具退回工件坐标零点，主轴停止
N85   M02；程序结束并返回程序开头
L0730.SPF；去余量粗加工子程序(略)
⋮
RET；子程序结束，返回主程序
L3371.SPF；椭圆类零件曲面加工 R 参数子程序(见上)
⋮
RET；R 参数子程序结束，返回主程序
```

3）FANUC 0i 数控系统。

主程序如下：

```
O××××；程序名
N10   T01   M06；调用 1 号刀(φ25mm 立铣刀)
N15   G17   G90   G21   G54   G54   G40   G49   G80；程序运行初始状态设置
N20   G43   G00   Z50.0   H01   S400   M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为
                                            400r/min
N25   X0.0   Y0.0   M07   D01；刀具快速移动到工件坐标零点，打开切削液
N30   G65   P0730；调用去余量粗加工子程序
N35   M06   T02；调用 2 号刀(φ16mm 立铣刀)
N40   G43   G00   Z50.0   H02   S500   M03   D02；建立刀具长度补偿，主轴正转，转
                                                  速为 500r/min
N45   G65   P3371   X40.0   Y40.0   H-10.0   R2.0   A35.0   B20.0   C45.0   I0.0
      J360.0   K5.0   D8.0   F150.0；调用椭圆类零件曲面加工程序进行椭圆粗加工
N50   S600   M03   D03；主轴正转，转速为 600r/min
N55   G65   P3371   X40.0   Y40.0   H-10.0   R2.0   A35.0   B20.0   C45.0   I0.0
      J360.0   K2.0   D8.0   F100.0；调用椭圆类零件曲面加工程序进行椭圆精加工
N60   G00   Z100.0   M09；刀具退到工件上表面 100mm 处，切削液关闭
```

N65　G49；取消刀具长度补偿

N70　X0　Y0　M05；刀具退回工件坐标零点，主轴停止

N75　M30；程序结束并返回程序开头

O0730；去余量粗加工子程序(略)

⋮

M99；子程序结束，返回主程序

O3371；椭圆类零件曲面加工程序(见上)

⋮

M99；子程序结束，返回主程序

3.3.7.2　双曲线类零件曲面的宏程序编程

编制图3-89所示铣削双曲线类零件的曲面通用程序。假设双曲线的实半轴为a、虚半轴为b，双曲线的一般方程为 $X^2/a^2-Y^2/b^2=1$，最终加工深度为H。

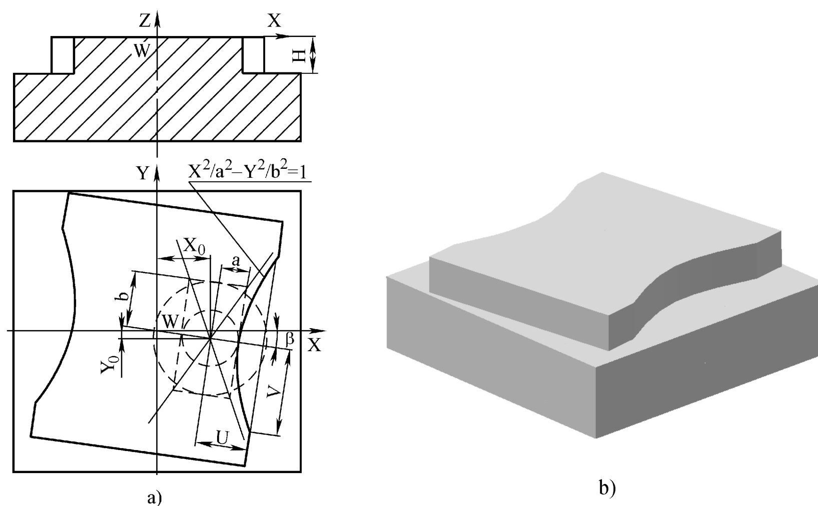


图3-89　双曲线类的曲面零件示意图

a）零件图　b）效果图

工艺分析：加工此类零件曲面，一般先将工件坐标原点偏置到双曲线的对称中心，如双曲线曲面的对称中心轴与工件坐标系的X轴成一角度，则再将工件坐标系进行旋转；采用直线逼近(也叫拟合)，在Y向分段，以0.1～0.5mm为一个步距，并把Y作为自变量(参数)。为了适应不同的双曲线(即不同的实、虚轴)、不同的起始点和不同的步距，下面编制一个只用变量不用具体数值的宏程序，然后在主程序中呼出该宏程序的用户宏指令段为上述变量赋值。这样，对于不同的双曲线、不同的起始点和不同的步距，不必更改宏程序，而只需修改主程序中用户宏指令段内的赋值数据就可以了。注意：为了保证双曲线曲面的精度，以Y值为循环条件的判断，使每循环一次的Y值变化为均值。假设刀具切削选择不对称顺铣方式（逆时针），即起点坐标在第一或第三象限。

由以上工艺分析，可画出图3-90所示该宏程序的结构流程框图。

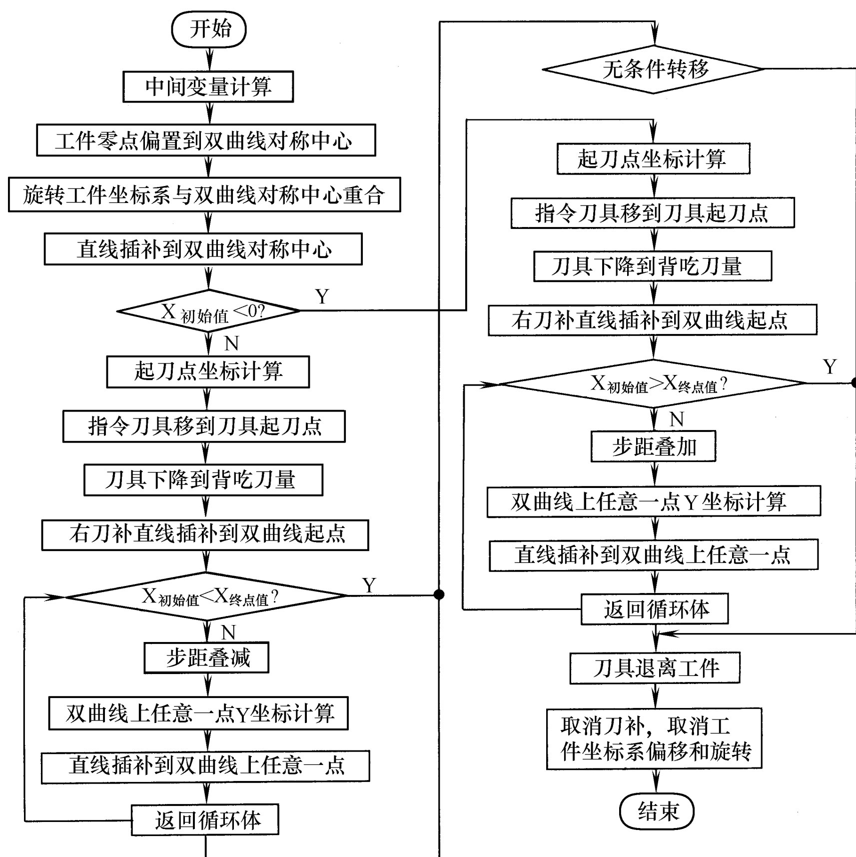


图 3-90　双曲线类零件曲面宏程序的结构流程框图

1. HNC—21/22M 华中世纪星数控系统对铣削双曲线类零件的曲面用户宏程序

局部变量含义：

#23 = X_0；X_0—双曲线对称中心的工件坐标横向绝对坐标值

#24 = Y_0；Y_0—双曲线对称中心的工件坐标纵向绝对坐标值

#20 = U；U—双曲线起点的 X 初始值

#21 = V；V—双曲线起点的 Y 初始值

#7 = H；H—最终加工深度

#17 = R；R—安全高度

#0 = a；a—实轴

#1 = b；b—虚轴

#2 = β；β—双曲线实(虚) 轴与 X 轴的夹角

#3 = D；D—刀具半径

#5 = F；F—进给速度

#10 = K；K—步距

%3372；宏程序号

N010　#30 = #20；双曲线起点的 X 初始值赋给中间变量#30

```
N015　#31 = #21；双曲线起点的 Y 初始值赋给中间变量#31
N018　#101 = #3；将刀具半径赋给中间变量#101
N020　G68　X[#23]　Y[#24]　P[#2]；以双曲线中心为旋转中心，将工件坐标系旋
                                转 β
N025　G00　X[#23 + 2 * #30]　Y[#24 + #31]；将刀具移动到工件一侧
N030　IF　#31GT0；如果#31(Y 初始值) 大于 0，则程序跳转到 N080 程序段
N035　G90　G00　X[#23 + #30 + 2 * #3]　Y[#24 + #31 + #3]；指令刀具移到刀具起刀点
N040　Z[#17]；刀具快速下降到工件上方安全距离
N045　G01　Z[#7]　F[3 * #5]；刀具以工进速度下降到最终加工深度
N050　WHILE　#31LE[ - #21]；如果#31(初始值) 大于 - #21 (终点值)，则程序跳转
                          到 N075 程序段
N055　G64　G42　G01　X[#23 + #30]　Y[#24 + #31]　F[#5]　D101；铣刀到达双曲线
                                                        上任意一点处
N060　#31 = #31 + #10；步距叠加
N065　#30 = #0 * SQRT[1 + [#31 * #31]/[#1 * #1]]
      ；双曲线上任意一点的 X 绝对坐标值(X = aSQRT(1 + Y^2/b^2))
N070　ENDW；返回循环体
N075　ELSE；
N080　G90　G00　X[#23 + #30 + 2 * #3]　Y[#24 + #31 - #3]；指令刀具移到刀具起刀点
N085　Z[#17]；刀具快速下降到工件上方安全距离
N090　G01　Z[#7]　F[3 * #5]；刀具以工进速度下降到最终加工深度
N095　WHILE　#31GE[ - #21]；如果#31 (初始值) 小于 - #21 (终点值)，则程序跳
                          转到 N120 程序段
N100　G64　G41　G01　X[#24 + #30]　Y[#24 + #31]　F[#5]　D101；铣刀到达双曲线
                                                        上任意一点处
N105　#31 = #31 - #10；步距叠减
N110　#30 = #0 * SQRT[1 + [#31 * #31]/[#1 * #1]]；双曲线上任意一点的 X 绝对坐标
                                              值(X = aSQRT(1 + Y^2/b^2))
N115　ENDW；返回循环体
N120　ENDIF
N125　G40　G01　G90　X[#23 + 2 * #20]　Y[#24 + #21]；取消刀具补偿，返回工件
                                                  坐标原点
N130　G00　Z100；快速抬刀
N135　G69；取消坐标系旋转
N140　M99；程序结束
```

2. SINUMERIK 802D 数控系统对铣削双曲线类零件的曲面用户 R 参数程序

R 参数含义：

R24 = X_0；X_0—双曲线对称中心 X 绝对坐标值

R25 = Y_0；Y_0—双曲线对称中心 Y 绝对坐标值

```
R21 = U；U—双曲线起点的 X 初始值
R22 = V；V—双曲线起点的 Y 初始值
R11 = H；H—最终加工深度
R18 = R；R—安全高度
R1 = a；a—实轴
R2 = b；b—虚轴
R3 = β；β—双曲线实(虚) 轴与 X 轴的夹角
R7 = D；D—刀具半径
R9 = F；F—进给速度
R6 = K；K—步距
L3372；R 参数程序名
N010  R30 = R21；双曲线起点的 X 初始值赋给中间变量 R30
N015  R31 = R22；双曲线起点的 Y 初始值赋给中间变量 R31
N018  R101 = R7；将刀具半径值赋给中间变量 R101
N020  TRANSX = R24  Y = R25；建立局部工件坐标系
N025  AROT RPL = R3；以双曲线中心为旋转中心，将工件坐标系旋转 β
N030  G00  X = 2 * R30  Y = R31；将刀具移动到工件一侧
N035  IF  R31 > 0  GOTOF  MARKE0；如果 R31 > 0，则程序跳转到 MARKE0
N040  G90  G00  X = R30 + 2 * R7  Y = R31 + R7；指令刀具移到刀具起刀点
N045  Z = R18；刀具快速下降到工件上方安全距离
N050  G01  Z = R11  F = 3 * R9；刀具以工进速度下降到最终加工深度
N055  MARKE1：G64  G42  G01  X = R30  Y = R31  F = R9  D = R101；铣刀到达双曲线上任意一点处
N060  R31 = R31 + R6；步距叠加
N065  R30 = R1 * SQRT[1 + [R31 * R31]/[R2 * R2]]；双曲线上任意一点的 X 绝对坐标值(X = aSQRT(1 + Y²/b²))
N070  IF  R31 < = -R22  GOTOB  MARKE1；如果 R31(初始值) 小于或等于 -R22(终点值)，则跳转到 MARKE1 程序段
N075  GOTOF  MARKE2；无条件跳转到 MARKE2
N080  MARKE0：G90  G00  X = R30 + 2 * R7  Y = R31 - R7；将刀具移动到起刀点
N085  Z = R18；刀具快速下降到工件上方安全距离
N090  G01  Z = R11  F = 3 * R9；刀具以工进速度下降到最终加工深度
N095  MARKE3：G64  G41  G01  X = R30  Y = R31  F = R9  D = R101；铣刀到达双曲线的起点处
N100  R31 = R31 - R6；步距叠减
N105  R30 = R1 * SQRT[1 + [R31 * R31]/[R2 * R2]]；双曲线上任意一点的 X 绝对坐标值(X = aSQRT(1 + Y²/b²))
N110  IF  R31 > = -R22  GOTOB  MARKE3；如果 R31(初始值) 大于或等于 -R22(终点
```

值)，则程序跳转到 MARKE3 程序段
N115　MARKE2：G40　G01　G90　X = 2 * R21　Y = R22；取消刀具补偿，返回工件坐标系原点
N120　G00　Z100；快速抬刀
N125　TRANS；取消坐标系旋转和局部坐标系
N130　RET；R 参数子程序结束并返回主程序

3. FANUC 0i 数控系统对铣削双曲线类零件的曲面用户宏程序

自变量含义：
#24 = X_0；X_0—双曲线对称中心 X 绝对坐标值
#25 = Y_0；Y_0—双曲线对称中心 Y 绝对坐标值
#21 = U；U—双曲线起点的 X 初始值
#22 = V；V—双曲线起点的 Y 初始值
#11 = H；H—最终加工深度
#18 = R；R—安全高度
#1 = a；a—实轴
#2 = b；b—虚轴
#3 = β；β—双曲线实(虚) 轴与 X 轴的夹角
#7 = D；D—刀具半径
#9 = F；F—进给速度
#6 = K；K—步距
O3372；宏程序名
N010　#30 = #21；双曲线起点的 X 初始值赋给中间变量#30
N015　#31 = #22；双曲线起点的 Y 初始值赋给中间变量#31
N018　#101 = #7；将刀具半径赋给中间变量#101
N020　G52　X#24　Y#25；建立局部工件坐标系
N025　G68　X0　Y0　R#3；以双曲线中心为旋转中心旋转 β
N030　G00　X [2 * #30]　Y#31；将刀具移动到工件一侧
N035　IF [#31GT0]　GOTO85；如果#31 (Y 初始值) 大于 0，则跳转到 N085 程序段
N040　G90　G00　X[#30 + 2 * #7]　Y[#31 + #7]；指令刀具移到刀具起刀点
N045　Z#18；刀具快速下降到工件上方安全距离
N050　G01　Z#11　F[3 * #9]；刀具以工进速度下降到最终加工深度
N055　WHILE　[#31LE[- #22]]　DO1；如果#31(初始值) 大于 - #22(终点值)，则跳转到 N080 程序段
N060　G64　G42　G01　X#30　Y#31　F#9　D#101；铣刀到达双曲线上任意一点处
N065　#31 = #31 + #6；步距叠加
N070　#30 = #1 * SQRT[1 + [#31 * #31]/[#2 * #2]]；双曲线上任意一点的 X 绝对坐标值($X = aSQRT(1 + Y^2/b^2)$)
N075　END1；返回循环体
N080　GOTO125；无条件跳转到 N125 程序段

N085 G90 G00 X[#30+2*#7] Y[#31-#7]；指令刀具移到刀具起刀点

N090 Z#18；刀具快速下降到工件上方安全距离

N095 G01 Z#11 F[3*#9]；刀具以工进速度下降到最终加工深度

N100 WHILE [#31GE[-#22]] DO2；如果#31(初始值) 小于-#22(终点值)，则程序跳转到N125程序段

N105 G64 G41 G01 X#30 Y#31 F#9 D#101；铣刀到达双曲线上任意一点处

N110 #31=#31-#6；步距叠减

N115 #30=#1*SQRT[1+[#31*#31]/[#2*#2]]；双曲线上任意一点的X绝对坐标值($X=aSQRT(1+Y^2/b^2)$)

N120 END2；返回循环体

N125 G40 G01 G90 X[2*#21] Y-#22；取消刀具补偿，返回工件坐标原点

N130 G69；取消坐标系旋转

N135 G52 X0 Y0；取消局部坐标系

N140 G00 Z100；快速抬刀

N145 M99；子程序结束并返回主程序

4. 编程实例

在铣床或加工中心上加工图3-91所示双曲线零件的曲面，双曲线实半轴为8.0mm，双曲线虚半轴为16.0mm，深度为10.0mm，双曲线实(虚) 轴与工件坐标系X轴的夹角为10°，零件毛坯尺寸(长×宽×高) 为100mm×80mm×30mm。试用变量(或参数) 编写出加工此类零件的宏程序。

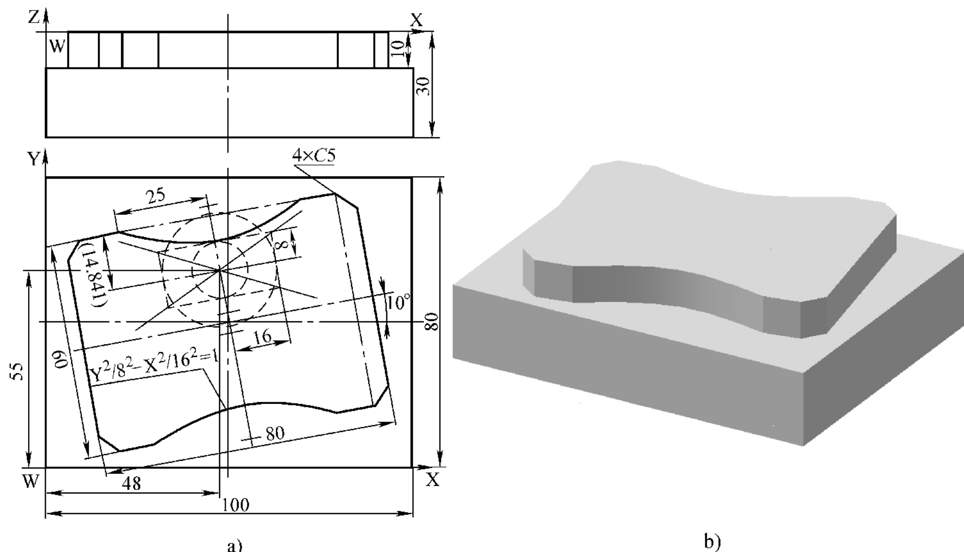


图3-91 双曲线编程实例零件铣削加工的刀具路线示意图

a）尺寸图 b）效果图

解：

(1) 工艺设计 建立工件坐标系，确定双曲线零件的左下角为工件坐标系X、Y轴的零

点，工件表面为工件坐标系 Z 轴的零点，机床坐标系偏置值设置在 G54 寄存器中。

（2）加工顺序　先用 ϕ25mm 立铣刀加工 80mm × 60mm × 10mm 矩形，再用 ϕ16mm 的立铣刀粗、精加工双曲线曲面。

先将工件坐标原点偏置到双曲线中心，再将工件坐标系进行旋转 100°；根据双曲线一般方程($X^2/8^2 - Y^2/16^2 = 1$)，采用直线逼近(也叫拟合)，在 X 向分段，粗加工时以 1mm 为一个步距，精加工时以 0.1 ~ 0.5mm 为一个步距，并把 X 作为自变量；最后在主程序中呼出该宏程序的用户宏指令段为上述变量赋值。

粗、精加工都采用不对称顺铣削方式；粗加工时，主轴转速 400r/min，铣削进给速度 150mm/min；精加工时，主轴转速 600r/min，铣削进给速度 100mm/min；主轴起始位置在零件上方 50.0mm 处，刀具起始切削安全高度在零件上方 2.0mm 处，精加工余量为 0.5mm。

（3）零件加工程序

1）HNC—21/22M 华中世纪星数控系统。

主程序如下：

```
O××××；文件名
%××××；程序号
N010  T01  M06；调用 1 号刀(φ25mm 立铣刀)
N015  G17  G90  G21  G94  G54  G40  G49  G80；程序运行初始状态设置
N020  G43  G00  Z50.0  H01  S400  M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为
                                        400r/min
N025  X0.0  Y0.0  M07  D01；刀具快速移动到工件坐标零点，打开切削液
N030  M98  P0730；调用 80mm×60mm×10mm 矩形加工子程序
N035  M06  T02；调用 2 号刀(φ16mm 立铣刀)
N040  G43  G00  Z50.0  H02  S500  M03  D02
                                    ；建立长度补偿，主轴正转、转速 500r/min
N045  M98  P3372  X48  Y55  U14.841  V-25  H-10  R2  A8  B16  C80.0  D8
      F150  K1；调用双曲线类零件曲面加工程序进行双曲线粗加工
N050  G24  X50.0  Y40.0；X 轴、Y 轴镜像，镜像位置为(48.0，55.0)
N055  M98  P3372  X48  Y55  U14.841  V-25  H-10  R2  A8  B16  C80  D8
      F150  K1；调用双曲线类零件曲面加工程序进行双曲线粗加工
N060  G25；取消镜像
N065  S600  M03  D03；主轴正转，转速 800r/min，调用 3 号刀补
N070  M98  P3372  X48  Y55  U14.841  V-25  H-10  R2  A8  B16  C80  D8
      F100  K0.5；调用双曲线类零件曲面加工程序进行双曲线精加工
N075  G24  X50.0  Y40.0；X 轴、Y 轴镜像，镜像位置为(48.0，55.0)
N080  M98  P3372  X48  Y55  U14.841  V-25  H-10  R2  A8  B16  C80  D8
      F100  K0.5；调用双曲线类零件曲面加工程序进行双曲线精加工
N085  G25；取消镜像
N090  G00  Z100.0  M09；刀具退到工件上表面 100mm 处，切削液关闭
N095  G49；取消刀具长度补偿
```

N100　X0　Y0　M05；刀具退回工件坐标零点，主轴停止
N105　M30；程序结束并返回程序开头
%0730；80mm×40mm×10mm 矩形加工子程序(略)
⋮
M99；子程序结束，返回主程序
%3372；双曲线类零件曲面加工程序(见上)
⋮
M99；子程序结束，返回主程序

2）SINUMERIK 802D 数控系统。

主程序如下：

FZG××××；程序名
N10　M06　T1　D1；调用 1 号刀(ϕ25mm 立铣刀)
N15　G17　G90　G71　G94　G54　G40；程序运行初始状态设置
N20　G00　Z50.0　S400　M03；主轴正转，转速为 400r/min
N25　X0.0　Y0.0　M07；刀具快速移动到工件坐标零点，打开切削液
N30　L0730；调用 80mm×60mm×10mm 矩形加工子程序
N35　M06　T2　D1；调用 2 号刀(ϕ16mm 立铣刀)
N40　G00　Z50.0　S500　M03；主轴正转，转速为 400r/min
N45　R24=48.0　R25=55.0　R21=14.841　R22=-25　R11=-10.0　R18=2.0
　R1=8.0　R2=16.0　R3=80.0　R9=150.0　R7=8.0　R6=1.0；参数设置
N55　L3372；调用双曲线类零件曲面加工程序进行双曲线粗加工
N60　AMIRROR　X=48.0　Y=55.0；可编程镜像
N65　L3372；调用双曲线类零件曲面加工程序进行双曲线粗加工
N70　AMIRROR；取消镜像
N75　M03　S600　D02；主轴正转，转速为 600r/min，调用 2 号刀补
N80　R9=100.0　R6=0.5；参数赋值
N85　L3372；调用双曲线类零件曲面加工程序进行双曲线精加工
N90　AMIRROR　X=48.0　Y=55.0；可编程镜像
N95　L3372；调用双曲线类零件曲面加工程序进行双曲线精加工
N100　AMIRROR；取消镜像
N105　G00　Z100.0　M09；刀具退到工件上表面 100mm 处，切削液关闭
N110　X0　Y0　M05；刀具退回工件坐标零点，主轴停止
N115　M02；程序结束并返回程序开头
L0730.SPF；80mm×60mm×10mm 矩形加工子程序(略)
⋮
RET；子程序结束，返回主程序
L3372.SPF；双曲线类零件曲面加工 R 参数子程序(见上)
⋮
RET；R 参数子程序结束，返回主程序

3）FANUC 0i 数控系统。

主程序如下：

O××××；程序名

N010　T01　M06；调用 1 号刀（ϕ25mm 立铣刀）

N015　G17　G90　G21　G94　G54　G40　G49　G80；程序运行初始状态设置

N020　G43　G00　Z50.0　H01　S400　M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为 400r/min

N025　X0.0　Y0.0　M07　D01；刀具快速移动到工件坐标零点，打开切削液

N030　G65　P0730；调用 80mm×40mm×10mm 矩形加工子程序

N035　M06　T02；调用 2 号刀（ϕ16mm 立铣刀）

N040　G43　G00　Z50.0　H02　S500　M03　D02；建立长度补偿，主轴正转，转速 500r/min

N045　G65　P3372　X48　Y55　U14.841　V－25　H－10　R2　A8　B16　C80　D8　F150　K1；调用双曲线类零件曲面加工程序进行双曲线粗加工

N050　G51.1　X50.0　Y40.0；X 轴、Y 轴镜像，镜像位置为（50.0，40.0）

N055　G65　P3372　X48　Y55　U14.841　V－25　H－10　R2　A8　B16　C80　D8　F150　K1；调用双曲线类零件曲面加工程序进行双曲线粗加工

N060　G50.1；取消镜像

N065　S600　M03　D03；主轴正转，转速 800r/min，调用 3 号刀补

N070　G65　P3372　X48　Y55　U14.841　V－25　H－10　R2　A8　B16　C80　D8　F100　K0.5；调用双曲线类零件曲面加工程序进行双曲线精加工

N075　G51.1　X50.0　Y40.0；X 轴、Y 轴镜像，镜像位置为（48.0，55.0）

N080　G65　P3372　X48　Y55　U14.841　V－25　H－10　R2　A8　B16　C80　D8　F100　K0.5；调用双曲线类零件曲面加工程序进行双曲线精加工

N085　G50.1；取消镜像

N090　G00　Z100.0　M09；刀具退到工件上表面 100mm 处，切削液关闭

N095　G49；取消刀具长度补偿

N100　X0　Y0　M05；刀具退回工件坐标零点，主轴停止

N105　M30；程序结束并返回程序开头

O0730；80mm×40mm×10mm 矩形加工子程序（略）

⋮

M99；子程序结束，返回主程序

O3372；双曲线类零件曲面加工程序（见上）

⋮

M99；子程序结束，返回主程序

3.3.7.3　抛物线类零件曲面的宏程序编程

编制图 3-92 所示铣削抛物线类零件的曲面通用程序，假设抛物线的开口距离为 2V，抛物线的一般方程为 $Y^2=2PX$（或 $Y^2=-2PX$），最终加工深度为 H。

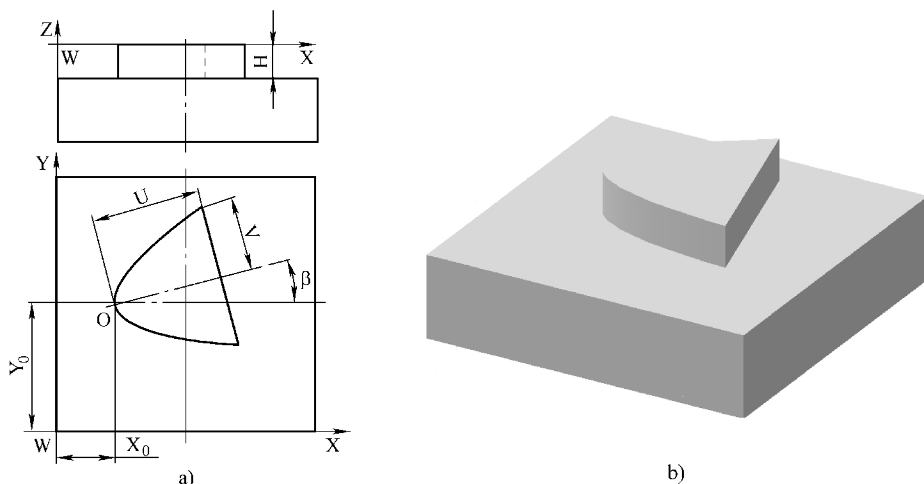


图 3-92 抛物线类曲面的零件示意图
a）零件图 b）效果图

工艺分析：加工此类零件曲面，一般先将工件坐标原点偏置到抛物线的顶点，如抛物线的轴与工件坐标系的 X 轴成一角度，则再将工件坐标系的 X 轴旋转至抛物线的轴重合；采用直线逼近(也叫拟合) 在 Y 向分段，以 0. 1 ~0. 5mm 为一个步距，并把 Y 作为自变量(参数)。为了适应不同的抛物线(即不同的抛物线轴)、不同的起始点和不同的步距，下面编制一个只用变量不用具体数值的宏程序，然后在主程序中呼出该宏程序的用户宏指令段为上述变量赋值。这样，对于不同的抛物线、不同的起始点和不同的步距，不必更改宏程序，而只要修改主程序中用户宏指令段内的赋值数据就可以了。注意：为了保证抛物线曲面的精度，以 Y 值为循环条件的判断，使每循环一次的 Y 值变化为均值。

由以上工艺分析，可画出图 3-93 所示该宏程序的结构流程框图。

1. HNC—21/22M 华中世纪星数控系统对铣削抛物线类零件的曲面用户宏程序

局部变量含义：

#23 = X_0；X_0—抛物线顶点离工件坐标原点的横向绝对坐标值

#24 = Y_0；Y_0—抛物线顶点离工件坐标原点的纵向绝对坐标值

#20 = U；U—抛物线起点离顶点的横向距离值

#21 = V；V—抛物线起点离顶点的纵向距离值

#7 = H；H—最终加工深度

#17 = R；R—安全高度

#15 = P；P—焦参数

#1 = β；β—抛物线对称轴与 X 轴的夹角

#5 = F；F—进给速度

#3 = D；D—刀具半径

#10 = K；K—步距

%3373；宏程序号

N010 #30 = #20；抛物线起点的 X 初始值赋给中间变量#30

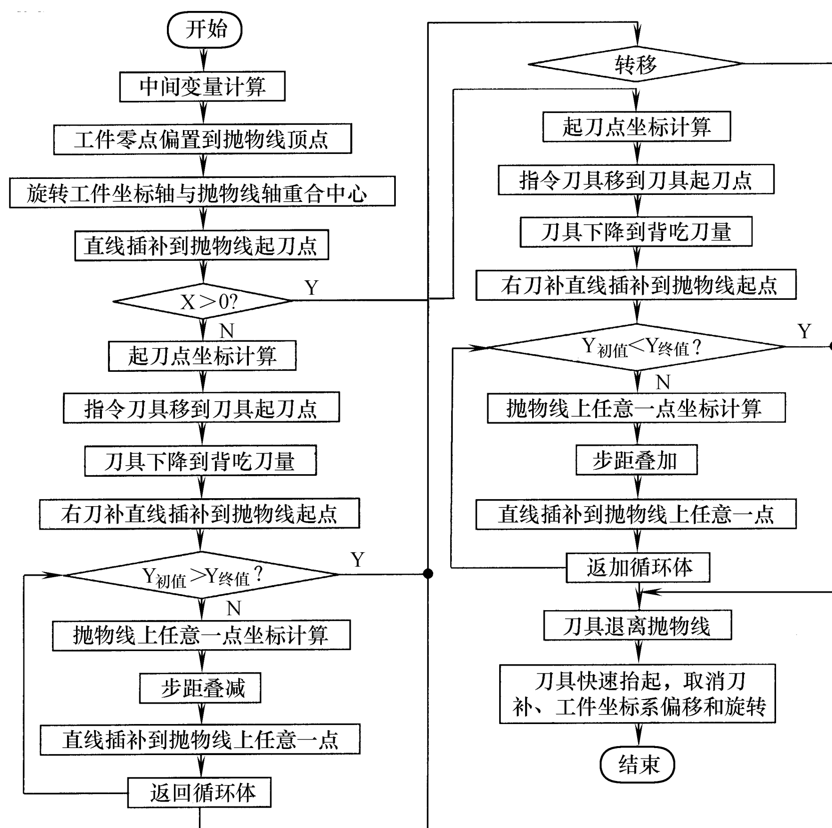


图 3-93　抛物线类零件曲面宏程序的结构流程框图

N015　#31 = #21；抛物线起点的 Y 绝对坐标值赋给中间变量#31

N018　#101 = #3；将刀具半径值赋给中间变量#101

N020　G68　X[#23]　Y[#24]　P[#1]；将工件坐标轴旋转到与抛物线轴中心重合

N025　G00　X[#23 + 2 * #30]　Y[#24 + #31]；将刀具移动到抛物线起点一旁

N030　IF　#31LT0；如果#31 初始值 Y 大于 0，则程序跳转到 N080 程序段

N035　G90　G00　X[#23 + #30 + 2 * #3]　Y[#24 + #31 − #3]；指令刀具移到刀具起刀点

N040　Z[#17]；刀具快速下降到工件上方安全距离

N045　G01　Z[#7]　F[3 * #5]；刀具以工进速度下降到背吃刀量

N046　G41　G01　X[#23 + [#31 − #10] * [#31 − #10]/[2 * #15]]　Y[#24 + #31 − #10]　F[#5]　D101；将刀具直线插补到抛物线曲线起点的延长线上

N050　WHILE　#31LE[− #21]；如果#31 大于 − #21 时，则程序跳转到 N072 程序段

N055　G64　G01　X[#23 + #30]　Y[#24 + #31]　F[#5]；将刀具移动到抛物线起点

N060　#31 = #31 + #10；Y 坐标值叠加一个步距

N065　#30 = [#31 * #31]/[2 * #15]；X 坐标计算$(X = Y^2/(2P))$

N070　ENDW；返回循环体

N072　G01　G90　X[#23 + [#31 + #10] * [#31 + #10] / [2 * #15]]　G91

Y[#10]；刀具沿曲线终点的延长线插补离开#10
N075 ELSE；程序跳转到 N130 程序段
N080 G90 G00 X[#23+#30+2*#3] Y[#24+#31+#3]；指令刀具移到刀具起刀点
N085 Z[#17]；刀具快速下降到工件上方安全距离
N090 G01 Z[#7] F[3*#5]；刀具以工进速度下降到背吃刀量
N092 G42 G01 X[#23+[#31+#10]*[#31+#10]/[2*#15]] Y[#24+#31+#10] F[#5] D101；将刀具直线插补到抛物线曲线起点的延长线上
N095 WHILE #31GE[-#24]；如果#31 小于-#24 时，则程序跳转到 N120 程序段
N100 G64 G01 X[#23+#30] Y[#24+#31] F[#5]；将刀具移动到抛物线起点
N105 #31=#31-#10； Y 坐标值叠减一个步距
N110 #30=[#31*#31]/[2*#15]；X 坐标计算（$X=Y^2/(2P)$）
N115 ENDW；返回循环体
N120 G01 G90 X[#23+[#31-#10]*[#31-#10]/[2*#15]] G91 Y[-#10]；刀具沿曲线终点的延长线插补离开#10
N125 ENDIF；
N130 G00 Z100；快速抬刀
N135 G40 G69；取消刀具半径补偿和坐标轴偏移及旋转
N140 M99；子程序结束并返回主程序

2. SINUMERIK 802D 数控系统对铣削抛物线类零件的曲面用户 R 参数程序

R 参数含义：
R24=X_0；X_0—抛物线顶点的 X 绝对坐标值
R25=Y_0；Y_0—抛物线顶点的 Y 绝对坐标值
R21=U；U—抛物线顶点的 X 绝对坐标值
R22=V；V—抛物线顶点的 Y 绝对坐标值
R11=H；H—最终加工深度
R18=R；R—安全高度
R16=P；P—焦参数
R2=β；β—抛物线轴与工件坐标系 X 轴的夹角
R7=D；D—刀具半径
R9=F；F—进给速度
R6=K；K—步距
L3373. SPF；R 参数子程序名
N010 R30=R21；抛物线起点的 X 初始值赋给中间变量 R30
N020 R31=R22；抛物线起点的 Y 初始值赋给中间变量 R31
N018 R101=R7；将刀具半径值赋给中间变量 R101
N020 TRANS X=R24 Y=R25；将工件坐标系偏移到抛物线顶点，建立局部工件坐标系
N025 AROT RPL=R2；以抛物线顶点为旋转中心，将工件坐标系旋转 β
N030 G00 X=2*R30 Y=R31；将刀具移动到抛物线起点旁

N035　IF　R31 > 0　GOTOF　MARKE4；如果R31（初始值）大于0，则程序跳转到MARKE4程序段

N040　G90　G00　X = R30 + 2 * R7　Y = R31 - R7；指令刀具移到刀具起刀点

N045　Z = R18；刀具快速下降到工件上方安全距离

N050　G01　Z = R11　F = 3 * R9；刀具以工进速度下降到背吃刀量

N052　G41　G01　X = [[R31 - R6] * [R31 - R6]/[2 * R16]]　Y = [R31 - R6]　F = R9　D = R101；将刀具直线插补到抛物线曲线起点的延长线上

N055　MARKE1：G64　G01　X = R30　Y = R31　F = R9；左刀补到抛物线起点

N060　R31 = R31 + R6；步距叠加　（Y）

N065　R30 = [R31 * R31]/[2 * R16]；抛物线上任意一点的X绝对坐标值（$X = Y^2/(2P)$）

N070　IF　R31 < = - R22　GOTOB　MARKE1；如果R31（初始值）小于或等于 - R22（终点值），则程序跳转到MARKE1程序段

N072　G01　G90　X = [[R31 + R6] * [R31 + R6]/[2 * R16]]　G91　Y = R61；刀具沿曲线终点的延长线插补离开R6

N075　GOTOF　MARKE2；无条件跳转到MARKE2程序段

N080　MARKE4：G90　G00　X = R30 + 2 * R7　Y = R31 + R7；指令刀具移到刀具起刀点

N085　Z = R18；刀具快速下降到工件上方安全距离

N090　G01　Z = R11　F = 3 * R9；

N092　G42　G01　X = [[R31 + R6] * [R31 + R6]/[2 * R16]]　Y = [R31 + R6]　F = R9　D = R101；将刀具直线插补到抛物线曲线起点的延长线上

N095　MARKE3：G64　G42　G01　X = R30　Y = R31　F = R9　D = R101；右刀补到抛物线起点

N100　R31 = R31 - R6；步距叠减

N105　R30 = [R31 * R31]/[2 * R16]；抛物线上任意一点的X绝对坐标值（$X = Y^2/(2P)$）

N110　IF　R31 > = - R22　GOTOB　MARKE3；如果R31（初始值）大于或等于 - R22（终点值），则程序跳转到MARKE3程序段

N115　G01　G90　X = [[R31 - R6] * [R31 - R6]/[2 * R16]]　G91　Y = - R6；刀具沿曲线终点的延长线插补离开R6

N120　MARKE2　G00　Z100；快速抬刀

N125　G40；取消刀具半径补偿

N130　TRANS；取消坐标系旋转和局部坐标系

N135　RET；R参数子程序结束并返回主程序

3. FANUC 0i数控系统对铣削抛物线类零件的曲面用户宏程序

自变量含义：

#24 = X_0；X_0—抛物线顶点离工件坐标原点的横向绝对坐标值
#25 = Y_0；Y_0—抛物线顶点离工件坐标原点的纵向绝对坐标值
#21 = U；U—抛物线起点离顶点的横向距离值
#22 = V；V—抛物线起点离顶点的纵向距离值
#11 = H；H—最终加工深度
#18 = R；R—安全高度
#19 = P；P—焦参数
#2 = β；β—抛物线轴与工件坐标系 X 轴的夹角
#7 = D；D—抛物线起点的 Y 初始值
#9 = F；F—进给速度
#6 = K；K—步距

```
O3373；宏程序名
N010  #30 = #21；抛物线起点的 X 初始值赋给中间变量#30
N020  #31 = #22；抛物线起点的 Y 绝对坐标值赋给中间变量#31
N018  #101 = #7；将刀具半径值赋给中间变量#101
N020  G52  X#24  Y#25；将工件坐标系偏移到抛物线顶点，建立局部工件坐标系
N025  G68  X0  Y0  R#2；以抛物线顶点为旋转中心，将工件坐标系旋转 β
N030  G00  X［2 * #30］  Y#31；将刀具移动到抛物线起点旁
N035  IF ［#31GT0］ GOTO85；如果#31（初始值）大于 0，则跳转到 N085 程序段
N040  G90  G00  X[#30 + 2 * #7]  Y[#31 - #7]；指令刀具移到刀具起刀点
N045  Z#18；刀具快速下降到工件上方安全距离
N050  G01  Z#11  F[3 * #9]；刀具以工进速度下降到背吃刀量
N052  G41  G01  X[[#31 - #6] * [#31 - #6]/[2 * #19]]  Y[#31 - #6]  F#9
      D#101；将刀具直线插补到抛物线曲线起点的延长线上
N055  WHILE ［#31LE[ - #22]］ DO1；如果#31 大于 - #22 时，则程序跳转到 N078
                                      程序段
N060  G64  G01  X#30  Y#31  F#9；将刀具移动到抛物线起点
N065  #31 = #31 + #6；  Y 坐标值叠加一个步距
N070  #30 = [#31 * #31]/[2 * #19]；X 坐标计算(X = Y^2/(2P))
N075  END1；返回循环体
N078  G01  G90  X[[#31 + #6] * [#31 + #6]/[2 * #19]]  G91  Y#6；刀具沿曲线终点的
                                      延长线插补离开#6
N080  GOTO130；无条件转移到 N130
N085  G90  G00  X[#30 + 2 * #7]  Y[#31 + #7]；指令刀具移到刀具起刀点
N090  Z#18；刀具快速下降到工件上方安全距离
N095  G01  Z#11  F[3 * #9]；刀具以工进速度下降到背吃刀量
N096  G42  G01  X[[#31 + #6] * [#31 + #6]/[2 * #19]]  Y[#31 + #6]  F#9
      D#101；将刀具直线插补到抛物线曲线起点的延长线上
N100  WHILE ［#31GE[ - #22]］ DO2；如果#31 小于 - #22 时，则程序跳转到 N125
```

程序段

N105　G64　G42　G01　X#30　Y#31　F#9；将刀具移动到抛物线起点

N110　#31 = #31 - #6；　Y 坐标值叠减一个步距

N115　#30 = [#31 * #31]/[2 * #19]；X 坐标计算（$X = Y^2/(2P)$）

N120　END2；返回循环体

N125　G01　G90　X[[#31 - #6] * [#31 - #6]/[2 * #19]]　G91　Y - #6；刀具沿曲线终点的延长线插补离开#6

N130　G00　Z100；快速抬刀

N135　G69；取消刀具补偿

N140　G52　X0　Y0；取消局部坐标系

N145　M99；程序结束

4. 编程实例

在铣床或加工中心上加工图 3-94 所示抛物线零件的曲面，抛物线的开口距离为 30mm，抛物线的一般方程为 $Y^2 = 10X$，最终加工深度为 10mm，抛物线轴与工件坐标系 X 轴的夹角为 45°，零件毛坯尺寸（长 × 宽 × 高）为 80mm × 80mm × 30mm。试用变量（或参数）编写出加工此类零件的宏程序。

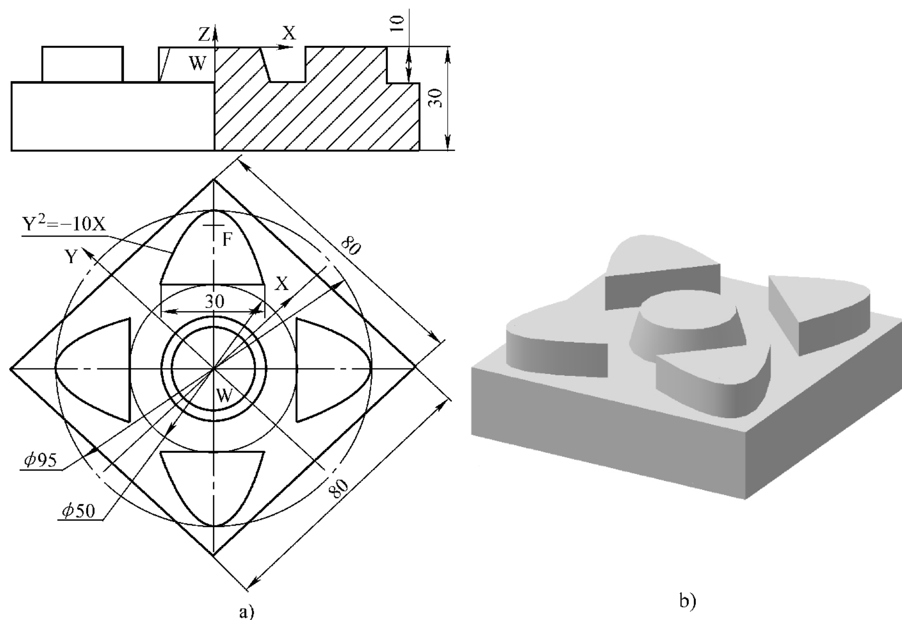


图 3-94　抛物线曲面编程实例零件示意图
a）尺寸图　b）效果图

解：

（1）工艺设计　建立工件坐标系，确定毛坯零件的中心为工件坐标系 X、Y 轴的零点，工件表面为工件坐标系 Z 轴的零点，机床坐标系偏置值设置在 G54 寄存器中。

（2）加工顺序　先用 ϕ8mm 三齿立铣刀去余量，再用 ϕ8mm 的四齿立铣刀粗、精加工抛物线曲面。

先将工件坐标原点偏置到抛物线顶点，再将工件坐标系的 X 轴旋转 45°与抛物线轴重合；根据抛物线一般方程($Y^2=10X$)，采用直线逼近(也叫拟合) 在 Y 向分段。粗加工时，以 1mm 为一个步距；精加工时，以 0.1～0.5mm 为一个步距，并把 Y 作为自变量。最后在主程序中呼出该宏程序的用户宏指令段为上述变量赋值。

粗、精加工都采用顺铣削方式；粗加工时，主轴转速 600r/min，铣削进给速度 120mm/min；精加工时，主轴转速 800r/min，铣削进给速度 80mm/min；主轴起始位置在零件上方 50.0mm 处，刀具起始切削安全高度在零件上方 2.0mm 处，精加工余量为 0.5mm。

(3) 零件加工程序

1) HNC—21/22M 华中世纪星数控系统。

主程序如下：

```
O××××；文件名
%××××；程序号
N010  T01  M06；调用 1 号刀(φ8mm 三齿立铣刀)
N015  G17  G90  G21  G94  G54  G40  G49  G80；程序运行初始状态设置
N020  G43  G00  Z50.0  H01  S600  M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为
                                       600r/min
N025  X0.0  Y0.0  M07  D01；刀具快速移动到工件坐标零点，打开切削液
N030  M98  P0730；调用去余量加工子程序
N035  M06  T02；调用 2 号刀(φ8mm 四齿立铣刀)
N040  G43  G00  Z50.0  H02  S800  M03  D02；建立刀具长度补偿，主轴正转，
                                            转速 800r/min
N055  M98  P3373  X33.588  Y33.588  U22.5  V15  H-10  R2  P5  B225  D4
      F120  K1；调用抛物线类零件曲面加工子程序在第一象限粗加工
N065  M98  P3373  X-33.588  Y33.588  U22.5  V15  H-10  R2  P5  B-45
      D4  F120  K1；调用抛物线类零件曲面加工子程序在第二象限粗加工
N075  M98  P3373  X-33.588  Y-33.588  U22.5  V15  H-10  R2  P5  B45
      D4  F120  K1；调用抛物线类零件曲面加工子程序在第三象限粗加工
N085  M98  P3373  X33.588  Y-33.588  U22.5  V15  H-10  R2  P5  B-225
      D4  F120  K1；调用抛物线类零件曲面加工子程序在第四象限粗加工
N095  M98  P0731  …；调用圆锥台加工子程序粗加工
N100  S800  M03  D03；主轴正转，转速 800r/min
N105  M98  P3373  X33.588  Y33.588  U22.5  V15  H-10  R2  P5  B225  D4
      F100  K0.5；调用抛物线类零件曲面加工子程序在第一象限精加工
N106  M98  P3373  X-33.588  Y33.588  U22.5  V15  H-10  R2  P5  B-45
      D4  F100  K0.5；调用抛物线类零件曲面加工子程序在第二象限精加工
N115  M98  P3373  X-33.588  Y-33.588  U22.5  V15  H-10  R2  P5  B45
      D4  F100  K0.5；调用抛物线类零件曲面加工子程序在第三象限精加工
N125  M98  P3373  X33.588  Y-33.588  U22.5  V15  H-10  R2  P5  B-225
      D4  F100  K0.5；调用抛物线类零件曲面加工子程序在第四象限精加工
```

N135　M98　P0731　…；调用圆锥台加工子程序精加工
N140　G00　Z100.0　M09；刀具退到工件上表面 100mm 处，切削液关闭
N145　G49；取消刀具长度补偿
N150　X0　Y0　M05；刀具退回工件坐标零点，主轴停止
N155　M30；程序结束并返回程序开头
%0730；去余量加工子程序（略）
⋮
M99；子程序结束，返回主程序
%0731；圆锥台加工子程序（略）
⋮
M99；子程序结束，返回主程序
%3373；抛物线类零件曲面加工程序（见上）
⋮
M99；子程序结束，返回主程序

2）SINUMERIK 802D 数控系统。

主程序如下：

FZG××××；程序名
N010　M06　T1　D1；调用 1 号刀（ϕ8mm 三齿立铣刀）
N015　G17　G90　G71　G94　G54　G40；程序运行初始状态设置
N020　G00　Z50.0　S600　M03；主轴正转，转速为 600r/min
N025　X0.0　Y0.0　M07；刀具快速移动到工件坐标零点，打开切削液
N030　L0730；调用去余量加工子程序
N035　M06　T2　D1；调用 2 号刀（ϕ8mm 四齿立铣刀）
N040　G00　Z50.0　S800　M03；主轴正转，转速为 800r/min
N045　R24 = 33.588 ；抛物线顶点的 X 绝对坐标值
　　　R25 = 33.588 ；抛物线顶点的 Y 绝对坐标值
　　　R21 = 22.5 ；抛物线顶点的 X 绝对坐标值
　　　R22 = 15.0 ；抛物线顶点的 Y 绝对坐标值
　　　R11 = -10.0 ；最终加工深度
　　　R18 = 2.0 ；安全高度
　　　R16 = 5.0 ；焦参数
　　　R2 = 225.0 ；抛物线轴与工件坐标系 X 轴的夹角（第一象限）
　　　R7 = 4.0 ；刀具半径
　　　R9 = 120.0 ；进给速度
　　　R6 = 1.0 ；步距
N050　L3373；调用抛物线类零件曲面 R 参数加工子程序在第一象限粗加工
N055　R24 = -33.588　R2 = -45.0；参数设置
N060　L3373；调用抛物线类零件曲面 R 参数加工子程序在第二象限粗加工
N065　R25 = -33.588　R2 = 45.0；参数设置

N070 L3373；调用抛物线类零件曲面 R 参数加工子程序在第三象限粗加工
N075 R24 = 33.588 R2 = −225.0；参数设置
N080 L3373；调用抛物线类零件曲面 R 参数加工子程序在第四象限粗加工
N090 L0731；调用圆锥台加工子程序粗加工
N095 M03 S800 D02；主轴正转，转速 800r/min，调用 2 号刀补
N100 R9 = 80.0 R6 = 0.5 R25 = 33.588 R2 = 225.0；参数设置
N105 L3373；调用抛物线类零件曲面 R 参数加工子程序在第一象限精加工
N110 R24 = −33.588 R2 = −45.0；参数设置
N115 L3373；调用抛物线类零件曲面 R 参数加工子程序在第二象限精加工
N120 R25 = −33.588 R2 = 45.0；参数设置
N125 L3373；调用抛物线类零件曲面 R 参数加工子程序在第三象限精加工
N130 R24 = 33.588 R2 = −225.0；参数设置
N135 L3373；调用抛物线类零件曲面 R 参数加工子程序在第四象限精加工
N145 L0731；调用圆锥台加工子程序精加工
N150 G00 Z100.0 M09；刀具退到工件上表面 100mm 处，切削液关闭
N155 X0 Y0 M05；刀具退回工件坐标零点，主轴停止
N158 D00；取消刀具长度补偿
N160 M02；程序结束并返回程序开头
L0730.SPF；去余量加工子程序（略）
⋮
RET；子程序结束，返回主程序
L0731.SPF；圆锥台加工子程序（略）
⋮
RET；子程序结束，返回主程序
L3373.SPF；抛物线类零件曲面加工 R 参数子程序（见上）
⋮
RET；R 参数子程序结束，返回主程序

3）FANUC 0i 数控系统。

主程序如下：

O××××；程序名
N010 T01 M06；调用 1 号刀（ϕ8mm 三齿立铣刀）
N015 G17 G90 G21 G94 G54 G40 G49 G80；程序运行初始状态设置
N020 G43 G00 Z50.0 H01 S600 M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为 600r/min
N025 X0.0 Y0.0 M07 D01；刀具快速移动到工件坐标零点，打开切削液
N030 G65 P0730；调用去余量加工子程序
N035 M06 T02；调用 2 号刀（ϕ8mm 四齿立铣刀）
N040 G43 G00 Z50.0 H02 S500 M03 D02；刀具长度补偿，转速 500r/min，正转，用 2 号刀补

```
N045  G65  P3373  X33.588  Y33.588  U22.5  V15  H-10  R2  S5  B225  D4
      F120  K1；调用抛物线类零件曲面加工子程序在第一象限粗加工
N055  G65  P3373  X-33.588  Y33.588  U22.5  V15  H-10  R2  S5  B-45
      D4  F120  K1；调用抛物线类零件曲面加工子程序在第二象限粗加工
N065  G65  P3373  X-33.588  Y33.588  U22.5  V15  H-10  R2  S5  B45  D4
      F120  K1；调用抛物线类零件曲面加工子程序在第三象限粗加工
N075  G65  P3373  X33.588  Y-33.588  U22.5  V15  H-10  R2  S5  B-225
      D4  F120  K1；调用抛物线类零件曲面加工子程序在第四象限粗加工
N085  G65  P0731  ...；调用圆锥台加工子程序粗加工
N090  S800  M03  D03；主轴正转，转速 800r/min，调用 3 号刀补
N095  G65  P3373  X33.588  Y33.588  U22.5  V15  H-10  R2  S5  B225  D4
      F100  K0.5；调用抛物线类零件曲面加工子程序在第一象限精加工
N105  G65  P3373  X-33.588  Y33.588  U22.5  V15  H-10  R2  S5  B-45
      D4  F100  K0.5；调用抛物线类零件曲面加工子程序在第二象限精加工
N115  G65  P3373  X-33.588  Y-33.588  U22.5  V15  H-10  R2  S5  B45
      D4  F100  K0.5；调用抛物线类零件曲面加工子程序在第三象限精加工
N125  G65  P3373  X33.588  Y-33.588  U22.5  V15  H-10  R2  S5  B-225
      D4  F100  K0.5；调用抛物线类零件曲面加工子程序在第四象限精加工
N135  G65  P0731  ...；调用圆锥台加工子程序精加工
N140  G00  Z100.0  M09；刀具退到工件上表面 100mm 处，切削液关闭
N145  G49；取消刀具长度补偿
N150  X0  Y0  M05；刀具退回工件坐标零点，主轴停止
N155  M30；程序结束并返回程序开头
O0730；去余量加工子程序（略）
⋮
M99；子程序结束，返回主程序
O0731；圆锥台加工子程序（略）
⋮
M99；子程序结束，返回主程序
O3373；抛物线类零件曲面加工程序（见上）
⋮
M99；子程序结束，返回主程序
```

3.3.7.4　阿基米德螺旋线类零件曲面的宏程序编程

编制图 3-95 所示铣削阿基米德螺旋线类零件的曲面通用程序。假设阿基米德螺旋线轨迹的起始点 A 的坐标值为（X_A，Y_A），螺旋线螺距为 T，螺旋线在起始点的半径为 R_A，螺旋线起点角度为 α，终点角度为 β，螺旋线凹槽宽度为 D，最终加工深度为 H。加工螺旋线时将通过下列一组公式，采用圆弧逼近方法进行加工。

$R_i = R_A + (\alpha_i - \alpha)T/360$

$$X_i=(R_A+(\alpha_i-\alpha)T/360)\cos\alpha_i$$

$$Y_i=(R_A+(\alpha_i-\alpha)T/360)\sin\alpha_i$$

式中　α_i——螺旋线从起始点半径至 i 点转过的角度(°)；

R_i——螺旋线在 i 点的半径（mm）。

工艺分析：加工此类零件曲面，一般先将工件坐标原点偏置到阿基米德螺旋线的中心点，在螺旋线起点钻下刀孔，再通过上述一组公式，采用圆弧逼近方法进行加工。用螺旋角作为自变量，以 1°～2°为一个角步距。为了适应不同的阿基米德螺旋线、不同的起始点和终点、不同的螺距，下面编制一个只用变量不用具体数值的宏程序，然后在主程序中呼出该宏程序的用户宏指令段为上述变量赋值。这样，对于不同的阿基米德螺旋线、不同的起始点和终点、不同的螺距，不必更改宏程序，而只要修改主程序中用户宏指令段内的赋值数据就可以了。注意：为了保证阿基米德螺旋线曲面的精度，以螺旋角值为循环条件的判断，使每循环一次的螺旋角值变化为均值。

由以上工艺分析，可画出图 3-96 所示该宏程序的结构流程框图。

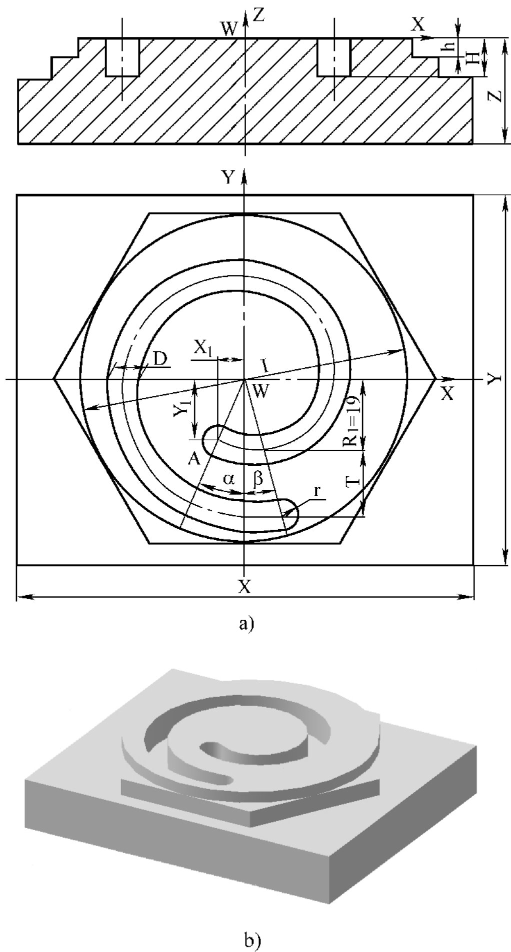


图 3-95　阿基米德螺旋线曲面类的零件示意图
a）零件图　b）效果图

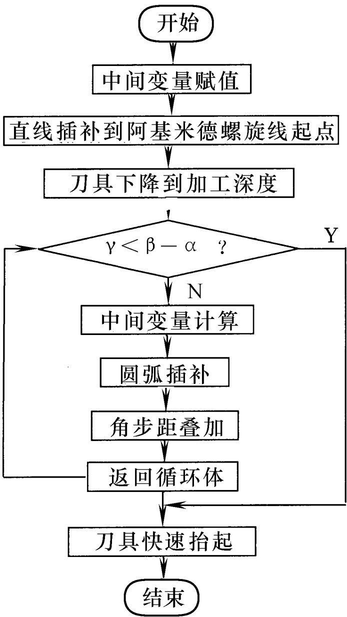


图 3-96　阿基米德螺旋线类零件曲面宏程序的结构流程框图

1. HNC—21/22M 华中世纪星数控系统对铣削阿基米德螺旋线类零件的曲面用户宏程序

局部变量含义：
#23 = X_A；X_A—起始点 A 的横坐标值
#24 = Y_B；Y_B—起始点 A 的纵坐标值
#19 = T；T—螺距
#17 = R_A；R_A—螺旋线在起始点的半径
#7 = H；H—最终加工深度
#0 = α；α—螺旋线起点角度
#1 = β；β—螺旋线终点角度
#2 = γ；γ—角步距
#5 = F；F—进给速度

```
%3374；宏程序号
N10  G00  X[#23]  Y[#24]；刀具移动到螺旋线起始点上方
N15  G01  Z[#7]  F[#5]；刀具下降到加工深度
N20  #100 = #2；角步距赋给中间变量
     #101 = #1 - #0；螺旋线转过角度
N25  WHILE  #100LE#101；如果#100 大于#101，则程序跳转到 N60 程序段
     #102 = #100 * PI/180；螺旋线转动角度化为弧度
     #103 = #102 * #19；(αi - α)T
     #104 = #103/[2 * PI]；(αi - α)T/360
     #105 = #104 + #17；RA + (αi - α)T/360
     #106 = #105 * COS[#100 * PI/180]；Xi = (RA + (αi - α) T/360) COS(αi)
     #107 = #105 * SIN[#100 * PI/180]；Yi = (RA + (αi - α) T/360)SIN(αi)
N30  G03  X[#106]  Y[#107]  R[#105]  F[2 * #5]；圆弧插补法逼近螺旋线
N40  #100 = #100 + #2；角步距叠加
N50  ENDW；返回循环
N60  G00  Z100；刀具快速抬起离开工件
N70  M99；宏程序结束，返回主程序
```

2. SINUMERIK 802D 数控系统对铣削阿基米德螺旋线类零件的曲面用户 R 参数程序

R 参数含义：
R24 = X_A；X_A—起始点 A 的横坐标值
R25 = X_B；X_B—起始点 A 的纵坐标值
R20 = T；T—螺距
R18 = R_A；R_A—螺旋线在起始点的半径
R11 = H；H—最终加工深度
R1 = α；α—螺旋线起点角度
R2 = β；β—螺旋线终点角度
R3 = γ；γ—角步距

R9 = F；F—进给速度

L3374. SPF；R 参数程序名

N10　G00　X = R24　Y = R25；刀具移动到螺旋线起始点上方

N15　G01　Z = R11　F = R9；刀具下降到加工深度

N20　R100 = R3；角步距赋给中间变量

　　R101 = R2 - R1；螺旋线转过角度

N20　MARKE1:R104 = R100 * R20/360;$(\alpha_i - \alpha)T/360$

　　R105 = R18 + R104;$R_A + (\alpha_i - \alpha)T/360$

　　R106 = R105 * COS[R100];$X_i = (R_A + (\alpha_i - \alpha)T/360)\mathrm{COS}(\alpha_i)$

　　R107 = R105 * SIN[R100];$Y_i = (R_A + (\alpha_i - \alpha)T/360)\mathrm{SIN}(\alpha_i)$

N30　G03　X = R106　Y = R107　CR = R105　F = 2 * R9；圆弧插补法逼近螺旋线

N40　R100 = R100 + R3；角步距叠加

N50　IF　R100 < = R101　GOTOB　MARKE1；如果 R100 小于或等于 R101，则程序跳转到 MARKE1

N60　G00　Z100；刀具快速抬起离开工件

N70　RET；R 参数子程序结束，返回主程序

3. FANUC 0i 数控系统对铣削阿基米德螺旋线类零件的曲面用户宏程序

自变量含义：

#24 = X_A；X_A—起始点 A 的横坐标值

#25 = Y_B；Y_B—起始点 A 的纵坐标值

#20 = T；T—螺距

#18 = R_A；R_A—螺旋线在起始点的半径

#11 = H；H—最终加工深度

#1 = α；α—螺旋线起点角度

#2 = β；β—螺旋线终点角度

#3 = γ；γ—角步距

#9 = F；F—进给速度

O3374；宏程序名

N10　G00　X#24　Y#25；刀具移动到螺旋线起始点上方

N15　G01　Z#11　F#9；刀具下降到加工深度

N20　#100 = #3；角步距赋给中间变量

　　#101 = #2 - #1；螺旋线转过角度

N25　WHILE　[#100LE#101]　DO1；如果#100 大于#101，则程序跳转到 N60 程序段

　　#104 = #100 * #20/360;$(\alpha_i - \alpha)T/360$

　　#105 = #18 + #104;$R_A + (\alpha_i - \alpha)T/360$

　　#106 = #105 * COS[#100];$X_i = (R_A + (\alpha_i - \alpha)T/360)\mathrm{COS}(\alpha_i)$

　　#107 = #105 * SIN[#100];$Y_i = (R_A + (\alpha_i - \alpha)T/360)\mathrm{SIN}(\alpha_i)$

N30　G03　X#106　Y#107　R#105　F[2 * #9]；圆弧插补法逼近螺旋线

N40　#100 = #100 + #3；角步距叠加

N50　END1；返回循环

N60　G00　Z100；刀具快速抬起离开工件

N70　M99；宏程序结束，返回主程序

4. 编程实例

在铣床或加工中心上加工图 3-97 所示阿基米德螺旋线零件的曲面，阿基米德螺旋线的螺距为 18.0mm，起始角度为 246°(起始点与工件坐标原点的连线与 X 轴的角度)，终止角度为 645°，最终加工深度为 10mm，零件毛坯尺寸(长 × 宽 × 高) 为 120mm × 100mm × 28mm。试用变量(或参数) 编写出加工此类零件的宏程序。

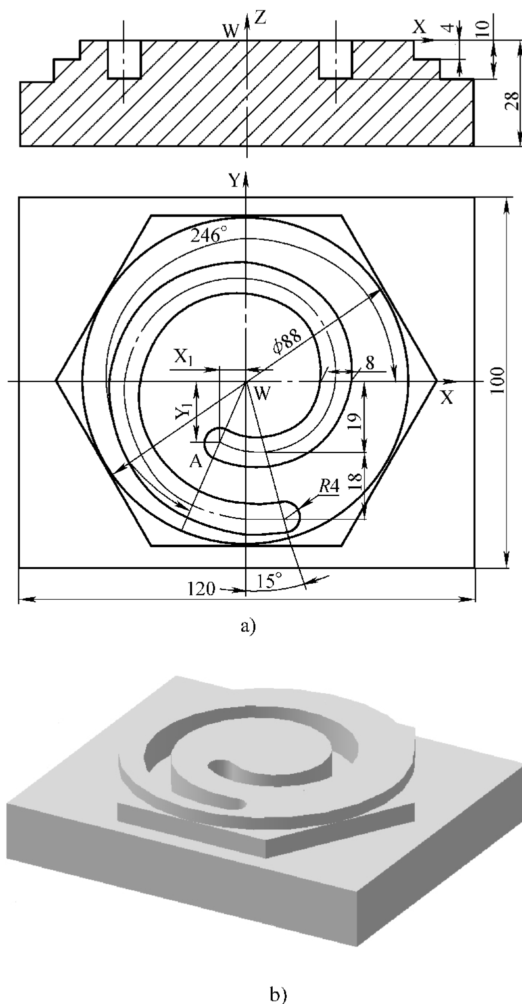


图 3-97　阿基米德螺旋线曲面编程实例零件示意图

a) 尺寸图　b) 效果图

解：

(1) 工艺设计　建立工件坐标系，确定毛坯零件的中心为工件坐标系 X、Y 轴的零点，工件表面为工件坐标系 Z 轴的零点，机床坐标系偏置值设置在 G54 寄存器中。

(2) 加工顺序　先用 ϕ8mm 键槽铣刀预钻孔，再用 ϕ8mm 的立铣刀加工阿基米德螺旋

线曲面。

如果工件坐标原点不在阿基米德螺旋线中心，则先将工件坐标原点偏置到阿基米德螺旋线中心，再根据阿基米德螺旋线公式：

$$R_i = R_A + (\alpha_i - \alpha)T/360$$

$$X_i = (R_A + (\alpha_i - \alpha)T/360)COS\alpha_i$$

$$Y_i = (R_A + (\alpha_i - \alpha)T/360)SIN\alpha_i$$

采用圆弧逼近方法进行加工，用螺旋角作为自变量，以2°作为一个角步距，采用不对称顺铣削方式，铣削阿基米德螺旋槽。

由图3-97可知，阿基米德螺旋线螺距T为18mm，螺旋线的起始角度为246°，最终转动角度为645°。当螺旋线由起始点，（270° - 246° = 24°）转过24°转到Y轴上时，螺旋线在i点的半径为19mm，则由 $R_i = R_A + (\alpha_i - \alpha)T/360$ 算出螺旋线在起始点的半径 R_A：

$$R_A = R_i - \alpha T/360 = 19 - 24 \times 18/360 = 17.8$$

再由上述阿基米德螺旋线坐标公式，求出阿基米德螺旋线的起始点坐标值(X_A、Y_A)：

$$X_A = R_A SIN246° \approx -7.234$$

$$Y_A = R_A COS246° \approx -16.2611$$

取主轴转速1000r/min，铣削进给速度80mm/min；主轴起始位置在零件上方50.0mm处，刀具起始切削安全高度在零件上方2.0mm处。

（3）零件加工程序

1）HNC—21/22M华中世纪星数控系统。

主程序如下：

O××××；文件名

%××××；程序号

N010　T01　M06；调用1号刀(φ25mm立铣刀)

N015　G17　G90　G21　G94　G54　G40　G49　G80；程序运行初始状态设置

N020　G43　G00　Z50.0　H01　S600　M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为600r/min

N025　X0.0　Y0.0　M07　D01；刀具快速移动到工件坐标零点，打开切削液

N030　M98　P0730；调用φ88mm×4mm圆凸台加工子程序

N035　M98　P0731；调用外切φ88mm圆凸台的正六边形加工子程序

N040　M06　T02；调用2号刀(φ8mm键槽铣刀)

N045　G43　G00　Z50.0　H02　S800　M03　D02；刀具长度补偿，主轴正转，转速800r/min，用2号刀补

N050　X-7.234　Y-16.2611；刀具移动到螺旋线起点上方

N055　Z5.0；刀具快速下降到工件上方5mm处

N060　G01　Z-10.0　F30；刀具以工进速度深度切削

N065　G00　Z100；刀具快速抬起

N070　M06　T03；调用3号刀(φ8mm立铣刀)

N075　G43　G00　Z50.0　H03　S1000　M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速1000r/min

N080　M98　P3374　X－7.234　Y－16.261　H－10.0　T18.0　R17.8　A246.0　B645.0　C2.0　F40.0；调用阿基米德螺旋线类零件曲面加工子程序
N085　G00　Z100.0　M09；刀具退到工件上表面100mm处，切削液关闭
N090　G49；取消刀具长度补偿
N095　X0　Y0　M05；刀具退回工件坐标零点，主轴停止
N100　M30；程序结束并返回程序开头
%0730；ϕ88mm×4mm圆凸台加工子程序(略)
⋮
M99；子程序结束，返回主程序
%0731；外切ϕ88mm圆凸台的正六边形加工子程序(略)
⋮
M99；子程序结束，返回主程序
%3374；阿基米德螺旋线类零件曲面加工程序(见上)
⋮
M99；子程序结束，返回主程序

2）SINUMERIK 802D数控系统。

主程序如下：

FZG××××；程序名
N010　M06　T1　D1；调用1号刀(ϕ25mm立铣刀)
N015　G17　G90　G71　G94　G54　G40；程序运行初始状态设置
N020　G00　Z50.0　S600　M03；主轴正转，转速为600r/min
N025　X0.0　Y0.0　M07；刀具快速移动到工件坐标零点，打开切削液
N030　L0730；调用ϕ88mm×4mm圆凸台加工子程序
N035　L0731；调用外切ϕ88mm圆凸台的正六边形加工子程序
N040　M06　T2　D1；调用2号刀(ϕ8mm键槽铣刀)
N045　G00　Z50.0　S800　M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速800r/min
N050　X－7.234　Y－16.2611；刀具移动到螺旋线起点上方
N055　Z5.0；刀具快速下降到工件上方5mm处
N060　G01　Z－10.0　F30；刀具以工进速度深度切削
N065　G00　Z100；刀具快速抬起
N070　M06　T03　D3；调用3号刀(ϕ8mm立铣刀)
N075　G00　Z50.0　S1000　M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速1000r/min
N080　R24＝－7.234　R25＝－16.261　R11＝－10.0　R20＝18.0　R18＝17.8　R1＝246.0　R2＝645.0　R3＝2.0　R9＝40.0；参数设置
N090　L3374；调用阿基米德螺旋线类零件曲面R参数加工子程序
N095　G00　Z100.0　M09；刀具退到工件上表面100mm处，切削液关闭
N100　X0　Y0　M05；刀具退回工件坐标零点，主轴停止
N105　M02；程序结束并返回程序开头
L0730.SPF；ϕ88mm×4mm圆凸台加工子程序(略)

⋮
RET；子程序结束，返回主程序
L0731. SPF；外切 ϕ88mm 圆凸台的正六边形加工子程序(略)
⋮
RET；子程序结束，返回主程序
L3374. SPF；阿基米德螺旋线类零件曲面加工 R 参数子程序(见上)
⋮
RET；R 参数子程序结束，返回主程序

3) FANUC 0i 数控系统。

主程序如下：

O××××；程序名
N010 T01 M06；调用 1 号刀(ϕ25mm 立铣刀)
N015 G17 G90 G21 G94 G54 G40 G49 G80；程序运行初始状态设置
N020 G43 G00 Z50.0 H01 S600 M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为 600r/min
N025 X0.0 Y0.0 M07 D01；刀具快速移动到工件坐标零点，打开切削液
N030 M98 P0730；调用 ϕ88mm×4mm 圆凸台加工子程序
N035 M98 P0731；调用外切 ϕ88mm 圆凸台的正六边形加工子程序
N040 M06 T02；调用 2 号刀(ϕ8mm 键槽铣刀)
N045 G43 G00 Z50.0 H02 S800 M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速 800r/min
N050 X-7.234 Y-16.2611；刀具移动到螺旋线起点上方
N055 Z5.0；刀具快速下降到工件上方 5mm 处
N060 G01 Z-10.0 F30；刀具以工进速度深度切削
N065 G00 Z100；刀具快速抬起
N070 M06 T03；调用 3 号刀(ϕ8mm 立铣刀)
N075 G43 G00 Z50.0 H03 S1000 M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速 1000r/min
N080 G65 P3374 X-7.234 Y-16.261 H-10.0 T18.0 R17.8 A246.0 B645.0 C2.0 F40.0；调用阿基米德螺旋线类零件曲面加工子程序
N085 G00 Z100.0 M09；刀具退到工件上表面 100mm 处，切削液关闭
N090 G49；取消刀具长度补偿
N095 X0 Y0 M05；刀具退回工件坐标零点，主轴停止
N100 M30；程序结束并返回程序开头
O0730；ϕ88mm×4mm 圆凸台加工子程序(略)
⋮
M99；子程序结束，返回主程序
O0731；外切 ϕ88mm 圆凸台的正六边形加工子程序(略)
⋮

M99；子程序结束，返回主程序

O3374；阿基米德螺旋线类零件曲面加工程序(见上)

⋮

M99；子程序结束，返回主程序

3.3.8　球面类零件的宏程序编程实例

3.3.8.1　凸半球面零件类的宏程序编程

编制图 3-98 所示铣削凸半球面类零件的曲面通用程序，假设凸半球曲面的半径为 I、最终加工深度为 T。

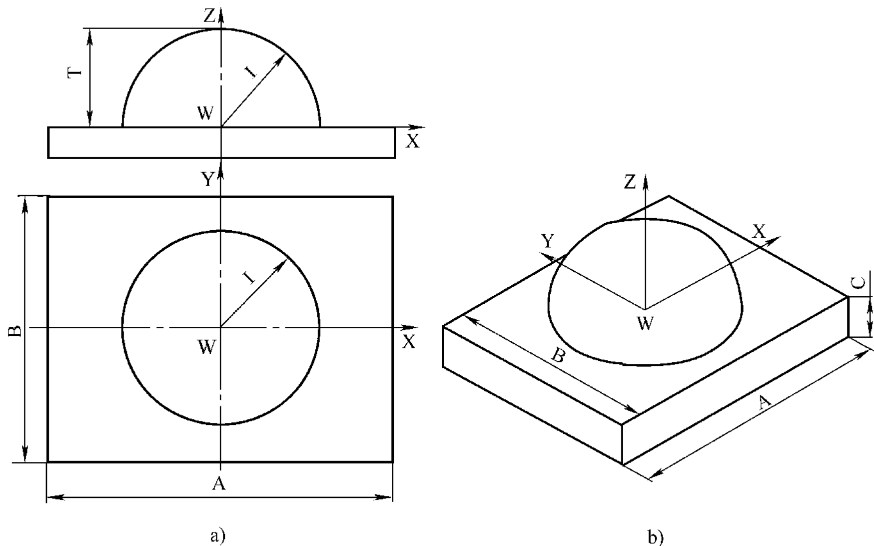


图 3-98　铣削加工凸半球面曲面类零件的刀具路线示意图
a）零件图　b）效果图

工艺分析：加工此类零件曲面，一般采用分层铣削的方式进行；手工编制该零件的宏程序时，先用平底立铣刀由上而下(或由下而上）以等高方式逐层切削，每层采用 G02/G03 圆弧插补铣削。注意：为了保证加工余量的均衡，在 Z 向分段，以 0.1～0.5mm 为一个步距，并把 Z 作为自变量，圆弧半径作为 Z 的函数。为了适应不同的凸半球(即半径和高度不同的凸半球)、不同的起始点和不同的步距，可以编制一个只用变量不用具体数据的宏程序，然后在主程序中呼出该宏程序的用户宏指令段为上述变量赋值。这样，对于不同的凸半球、不同的起始点和不同的步距，不必更改程序，而只要修改主程序中用户宏指令段内的赋值数据就可以了。

由以上工艺分析，可画出图 3-99 所示凸半球面曲面类零件宏程序的结构流程框图。

1. HNC—21/22M 华中世纪星数控系统铣削凸半球曲面类零件的用户宏程序

局部变量含义：

#23 = X_0；X_0—凸半球球心的 X 绝对坐标值

#24 = Y_0；Y_0—凸半球球心的 Y 绝对坐标值

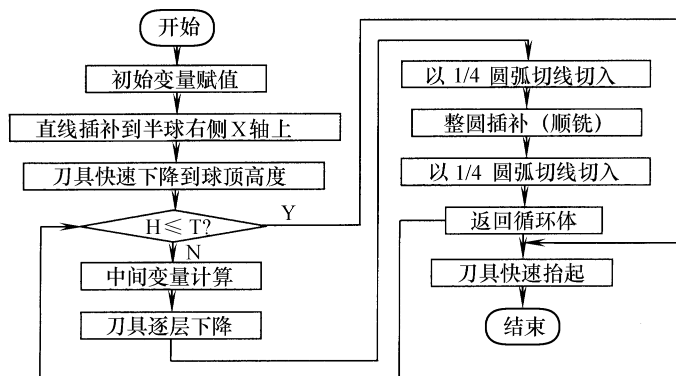


图 3-99　凸半球曲面类零件的宏程序结构流程框图

#25 = T；　T—凸半球最终加工深度

#7 = H ；H—凸半球球顶的 Z 绝对坐标值

#8 = I ；I—凸半球的圆弧半径

#9 = J；J—立铣刀半径

#16 = Q ；Q—Z 向下刀每次的深度

#5 = F ；F—切削速度

#2 = C ；C—切入圆弧半径(C≥J)

%3381；宏程序号(用平底立铣刀粗、精加工凸半球)

N005　#36 = #16；

N010　G90　G00　X[#23 + #8 + #9 + #2]　Y[#24]；指令刀具移到 X 轴上

N015　Z[#7]；刀具快速下降到工件上方安全距离

N020　WHILE　#7GE　#25；如果#7 小于#25，则跳转到 N070 程序段

N025　#7 = #7 - #16；任意层的 Z 向高度坐标计算

N030　#30 = SQRT[#8 * #8 - [#8 - #36] * [#8 - #36]]；刀具中心轨迹在任意层的圆弧半径计算

N035　G90　G01　Z[#7]　F[3 * #5]；绝对方式，刀具直线下降到当前层高

N040　G01　X[#23 + #30 + #9 + #2]　Y[#24 - #2]；直线插补到切入圆起点

N045　G91　G02　X[- #2]　Y[#2]　R[#2]　F[#5]；增量方式，以1/4圆弧切线切入

N050　G03　I - [#30 + #9]；在当前层高上进行整圆插补

N055　G02　X[#2]　Y[#2]　R[#2]；以 1/4 圆弧切线切出

N060　G01　Y[- #2]；直线插补到 X 轴上

N062　#36 = #36 + #16

N065　ENDW；返回循环体

N070　G90　G00　Z100；快速抬刀

N075　M99；程序结束

2. SINUMERIK 802D 数控系统铣削凸半球曲面类零件的用户 R 参数程序

R 参数含义：

R24 = X_0；X_0—凸半球球心的 X 绝对坐标值
R25 = Y_0；Y_0—凸半球球心的 Y 绝对坐标值
R26 = T；T—凸半球最终加工深度
R11 = H ；H—凸半球球顶的 Z 绝对坐标值
R4 = I ；I—凸半球的圆弧半径
R5 = J；J—立铣刀半径
R17 = Q ；Q—Z 向下刀每次的深度
R3 = C ；C—切入圆弧半径（C≥J）
R9 = F ；F—切削速度
L3381；R 参数程序名（用平底立铣刀粗、精加工凸半球）
N005　R37 = R17；
N010　G90　G00　X = R24 + R4 + R5 + R3　Y = R25；指令刀具移到 X 轴上
N015　Z = R11；刀具快速下降到工件上方安全距离
N020　MARKE1：R11 = R11 - R17；任意层的 Z 向高度坐标计算
N025　R30 = SQRT[R4 * R4 - [R4 - R37] * [R4 - R37]]；刀具中心轨迹在任意层的圆弧半径计算
　　　R37 = R37 + R17；
N030　G90　G01　Z = R11　F = 3 * R9；绝对方式，刀具直线下降到当前层高
N035　G01　X = R24 + R30 + R5 + R3　Y = R25 - R3；直线插补到切入圆起点
N040　G91　G02　X = - R3　Y = R3　CR = R3　F = R9；增量方式，以1/4圆弧切线切入
N045　G03　I = - [R30 + R5]；在当前层高上进行整圆插补
N050　G02　X = R3　Y = R3　CR = R3；以 1/4 圆弧切线切出
N055　G01　Y = - R3；直线插补到 X 轴上
N060　IF　R11 > = R26　GOTOF　MARKE1；如果 R11 大于或等于 R20，则跳转到 N20 程序段
N065　G90　G00　Z100；快速抬刀
N070　RET；程序结束

3. FANUC 0i 数控系统铣削凸半球曲面类零件的用户宏程序

自变量含义：
#24 = X_0；X_0—凸半球球心的 X 绝对坐标值
#25 = Y_0；Y_0—凸半球球心的 Y 绝对坐标值
#26 = T；T—凸半球最终加工深度
#11 = H ；H—凸半球球顶的 Z 绝对坐标值
#4 = I ；I—凸半球的圆弧半径
#5 = J；J—立铣刀半径
#17 = Q ；Q—Z 向下刀每次的深度
#3 = C ；C—切入圆弧半径（C≥J）
#9 = F ；F—切削速度

```
O3381；宏程序名(用平底立铣刀粗、精加工凸半球)
N005  #37 = #17；
N010  G90  G00  X[#24 + #4 + #5 + #3]  Y[#25]；指令刀具移到 X 轴上
N015  Z[#11]；刀具快速下降到工件上方安全距离
N020  WHILE  [#11GT#26]  DO1；如果#11 小于#26,则跳转到 N070 程序段
N025  #11 = #11 - #17；任意层的 Z 向高度坐标计算
N030  #30 = SQRT[#4 * #4 - [#4 - #37] * [#4 - #37]；刀具中心轨迹在任意层的圆
                                                   弧半径计算
      #37 = #37 + #17；
N035  G90  G01  Z#11  F[3 * #9]；绝对方式，刀具直线下降到当前层高
N040  G01  X[#24 + #30 + #5 + #3]  Y[#25 - #3]；直线插补到切入圆起点
N045  G91  G02  X[-#3]  Y#3  R#3  F#9；增量方式，以1/4圆弧切线切入
N050  G03  I-[#30 + #5]；在当前层高上进行整圆插补
N055  G02  X#3  Y#3  R#3;以 1/4 圆弧切线切出
N060  G01  Y[-#3]；直线插补到 X 轴上
N065  END1；返回循环体
N070  G90  G00  Z100；快速抬刀
N075  M99；程序结束
```

4. 编程实例

在铣床或加工中心上加工图 3-100 所示凸半球曲面，凸半球的球半径为 R30mm，零件毛坯尺寸(长×宽×高) 为 100mm×80mm×40mm。试用变量(或参数) 编写出加工此零件的数控程序。

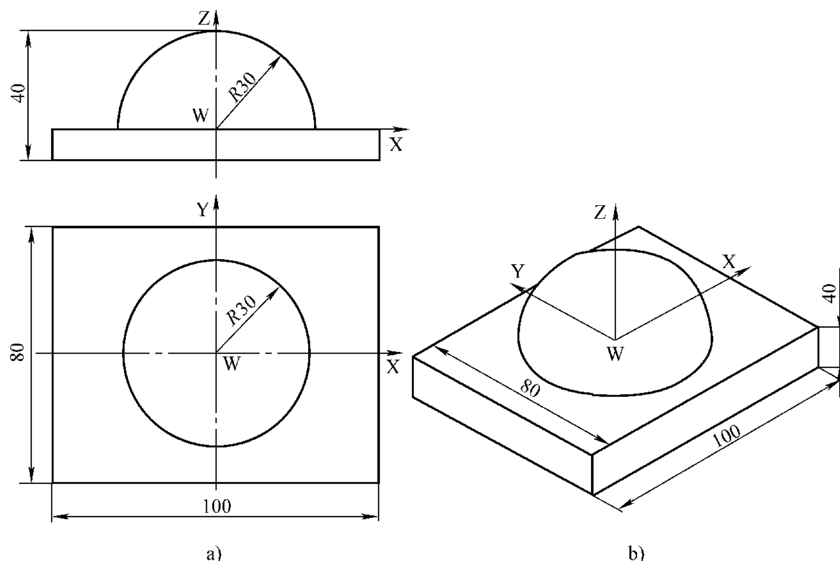


图 3-100　凸球面零件编程实例示意图

a) 尺寸图　b) 效果图

解：

（1）工艺设计　建立工件坐标系，确定凸半球的球心为工件坐标系 X、Y 轴的零点，工件表面为凸半球在工件坐标系中的高（Z 绝对坐标值），机床坐标系偏置值设置在 G54 寄存器中。

（2）加工顺序　先用 ϕ25mm 的粗齿立铣刀铣削 ϕ61mm × 30mm 圆柱体，再用 ϕ20mm 的立铣刀粗加工凸半球曲面，然后用 ϕ20mm 的钨钢立铣刀精加工凸半球曲面。

粗加工 ϕ61mm × 30mm 圆柱体时的切削用量为：主轴转速 540r/min，铣削进给速度 150mm/min，背吃刀量为 10mm，分三层完成切削。

凸半球的粗、精加工都采用顺铣削方式。粗加工时，主轴转速为 800r/min，铣削进给速度为 500mm/min，背吃刀量为 0.5mm；精加工时，主轴转速为 1500r/min，铣削进给速度为 350mm/min，背吃刀量为 0.2mm；主轴起始位置在零件上方 50mm 处，刀具起始切削安全高度在零件上方 2mm 处。

（3）零件加工程序

1）HNC—21/22M 华中世纪星数控系统。

主程序如下：

```
O××××；文件名
%××××；程序号
N10  T01  M06；调用 1 号刀（φ25mm 粗齿立铣刀）
N15  G17  G90  G54  G40  G49  G80；程序运行初始状态设置
N20  G43  G00  Z50.0  H01  S540  M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为
                                      540r/min
N25  X80.0  Y0.0  M07；刀具快速移动到工件右侧 X 轴上，打开切削液
N30  M98  P830；调用铣削 φ61mm×30mm 圆柱体的子程序
N35  M06  T02；调用 2 号刀（φ20mm 立铣刀）
N40  G43  G00  Z50.0  H02  S800  M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为
                                      800r/min
N45  M98  P3381  X0  Y0  Z-30  H0  I30  J10  Q0.5  F500  C15；调用凸半球曲面
                                                            宏子程序粗加工
N50  M06  T03；调用 3 号刀（φ20mm 钨钢立铣刀）
N55  G43  G00  Z50.0  H03  S1500  M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为
                                       1500r/min
N60  M98  P3381  X0  Y0  Z-30  H0  I30  J10  Q0.2  F350  C15；调用凸半球曲面
                                                            宏子程序精加工
N65  G00  Z100.0  M09；刀具退到工件上表面 100mm 处，切削液关闭
N70  G49；取消刀具长度补偿
N75  X100  Y0  M05；刀具退回工件右侧起刀点，主轴停止
N80  M30；程序结束并返回程序开头
%830；φ61mm×30mm 圆柱体铣削子程序（略）
⋮
```

M99；子程序结束，返回主程序
%3381；凸半球曲面铣削宏子程序(见前面)
⋮
M99；子程序结束，返回主程序
2）SINUMERIK 802D 数控系统。
主程序如下：
FZG××××；程序名
N10　T01　D01　M06；调用1号刀(ϕ25mm 粗齿立铣刀)
N15　G17　G90　G54　G40；程序运行初始状态设置
N20　G00　Z50.0　S540　M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为540r/min
N25　X80.0　Y0.0　M07；刀具快速移动到工件右侧X轴上，打开切削液
N30　L830；调用铣削ϕ61mm×30mm 圆柱体的子程序
N35　M06　T02　D02；调用2号刀(ϕ20mm 立铣刀)
N40　G00　Z50.0　S800　M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为800r/min
N45　R24=0；凸半球球心的X绝对坐标值
　　R25=0；凸半球球心的Y绝对坐标值
　　R26=0；凸半球最终加工深度的Z绝对坐标值
　　R11=-30；凸半球球顶的Z绝对坐标值
　　R4=0；凸半球的圆弧半径
　　R5=10；立铣刀半径
　　R17=0.5；Z向下刀每次的深度
　　R3=15；切入圆弧半径(C≥J)
　　R9=500；切削速度
N50　L3381；调用凸半球曲面R参数程序粗加工
N55　M06　T03　D03；调用3号刀(ϕ20mm 钨钢立铣刀)
N60　G00　Z50.0　S1500　M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为1500r/min
N65　R17=0.2　R9=350；
N70　L3381；调用凸半球曲面R参数程序精加工
N75　G00　Z100.0　M09；刀具退到工件上表面100mm处，切削液关闭
N80　X100　Y0　M05；刀具退回工件右侧起刀点，主轴停止
N85　M02；程序结束并返回程序开头
L830；ϕ61mm×30mm 圆柱体铣削子程序(略)
⋮
RET；子程序结束，返回主程序
L3381；凸半球曲面铣削R参数程序(见前面)
⋮
RET；子程序结束，返回主程序
3）FANUC 0i 数控系统。
主程序如下：

```
O××××；程序名
N10  T01  M06；调用 1 号刀(φ25mm 粗齿立铣刀)
N15  G17  G90  G54  G40  G49  G80；程序运行初始状态设置
N20  G43  G00  Z50.0  H01  S540  M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为
                                      540r/min
N25  X80.0  Y0.0  M07；刀具快速移动到工件右侧 X 轴上，打开切削液
N30  M98  P830；调用铣削 φ61mm×30mm 圆柱体的子程序
N35  M06  T02；调用 2 号刀(φ20mm 立铣刀)
N40  G43  G00  Z50.0  H02  S800  M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为
                                      800r/min
N45  G65  P3381  X0  Y0  Z-30  H0  I30  J10  Q0.5  F500  C15
                                      ；调用凸半球曲面宏子程序粗加工
N50  M06  T03；调用 3 号刀(φ20mm 钨钢立铣刀)
N55  G43  G00  Z50.0  H03  S1500  M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为
                                      1500r/min
N60  G65  P3381  X0  Y0  Z-30  H0  I30  J10  Q0.2  F350  C15；调用凸半球曲
                                      面宏子程序精
                                      加工
N65  G00  Z100.0  M09；刀具退到工件上表面 100mm 处，切削液关闭
N70  G49；取消刀具长度补偿
N75  X100  Y0  M05；刀具退回工件右侧起刀点，主轴停止
N80  M30；程序结束并返回程序开头
O830；φ61mm×30mm 圆柱体铣削子程序(略)
⋮
M99；子程序结束，返回主程序
O3381；凸半球曲面铣削宏子程序(见前面)
⋮
M99；子程序结束，返回主程序
```

3.3.8.2　凹半球面零件类的宏程序编程

编制图 3-101 所示的凹半球面类零件的曲面通用程序，假设凹半球曲面的半径为 R、最终加工深度为 H。

工艺分析：加工此类零件曲面，一般采用分层铣削的方式进行，手工编制该零件的宏程序时，先用麻花钻进行预钻孔，再用平底键槽铣刀由内往外螺旋线下降切削，完成粗加工；再用球头铣刀完成精加工。注意：为了保证粗加工余量的均衡，以螺旋线半径为循环条件的判断，使每循环一次的径向变化为均值。另外，为了保证精加工余量，粗加工时，高度固定保持抬高一定值；精加工时，为了保证扇形误差的均匀，以圆心角为循环条件的判断。

由以上工艺分析，可画出图 3-102 所示该宏程序的结构流程框图。

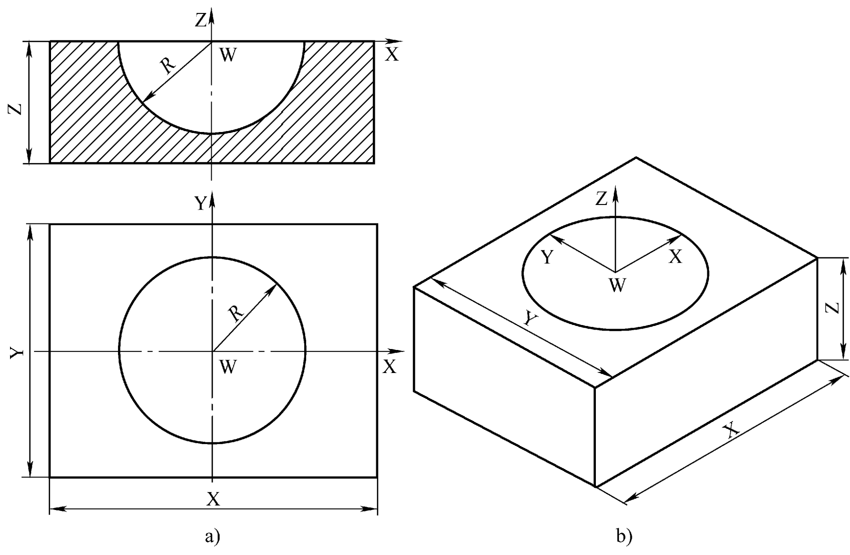


图 3-101　凹半球曲面类零件的示意图

a）零件图　b）效果图

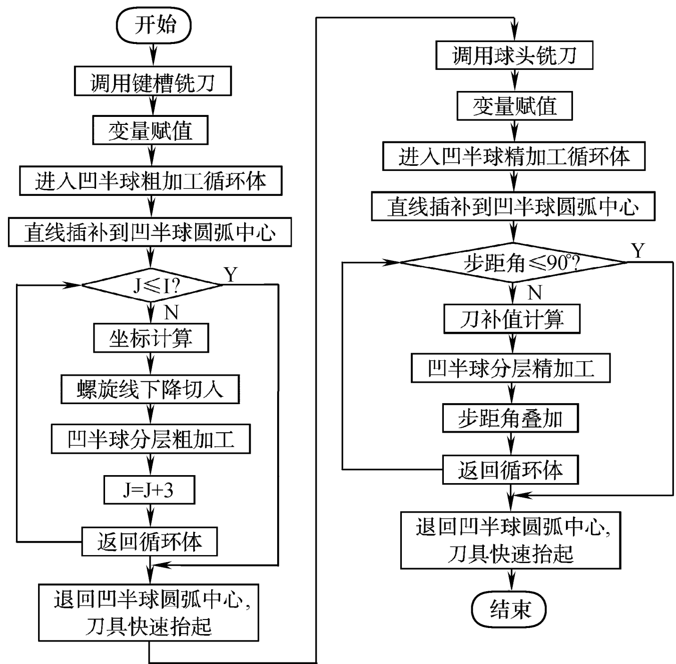


图 3-102　凹半球类零件曲面宏程序的结构流程框图

加工顺序：预钻孔、用键槽铣刀粗铣凹半球面、球头铣刀精铣凹半球面

1. HNC—21/22M 华中世纪星数控系统铣削凹半球面类零件曲面的用户宏程序

（1）%3382；宏程序号(用键槽铣刀粗加工凹半球曲面程序)

局部变量含义：

#23 = X_0；X_0—工件圆弧中心的 X 绝对坐标值

#24 = Y_0；Y_0—工件圆弧中心的 Y 绝对坐标值

#17 = R；R—安全高度

#18 = Q；Q—粗加工时的深度分层递增均值

#8 = I；I—凹半球的圆弧半径

#9 = J；J—预钻孔的半径（J≥R）

#10 = K；K—精加工余量

#3 = D；D—键槽立铣刀的半径

#5 = F；F—切削速度

```
N010　G90　G00　X[#23]　Y[#24]；指令刀具移到凹半球圆弧中心上方
N015　Z[#17]　M07；刀具快速下降到工件上方安全距离，打开切削液
N020　#28 = SQRT[#8 * #8 - #9 * #9]；键槽铣刀到达凹半球最深处绝对值
N022　#29 = #28 - #18；第一次加工深度
N025　WHILE #29GT 0；如果#29（分层加工深度）小于 0，则程序跳转到 N065 程序段
N038　#30 = SQRT[#8 * #8 - #29 * #29]；当前切削层的圆弧半径
N030　G91　G01　X[#30 - #3]　F[#5]；移动到刀具中心回转半径处（圆弧半径—键
                                      槽刀的半径）
N035　G90　G03　I[ - [#30 - #3]]　Z[ - #29]　F[#5/3]；以刀具中心回转半径
                                                   螺旋下降
N040　G03　I[ - [#30 - #3]]　F[#5]；以刀具中心回转半径（圆弧半径 - 键槽刀的
                                   半径）整圆插补
N045　G91　G01　X[ - [#30 - #3]]　F [3 * #5]；退回到凹半球圆弧中心
N050　G90　G00　Z[#17]；刀具快速抬起
N055　#29 = #29 - #18；背吃刀量逐次递增一个均值#18
N060　ENDW；返回循环体
N065　G00　Z100　M09；快速抬刀，关闭切削液
N070　M99；子程序结束，并返回上一级程序
```

（2）%3383；宏程序号（用球头铣刀精加工凹半球曲面程序）

局部变量含义：

#23 = X_0；X_0—工件圆弧中心的 X 绝对坐标值

#24 = Y_0；Y_0—工件圆弧中心的 Y 绝对坐标值

#17 = R；R—安全高度

#18 = Q；Q—粗加工时的深度分层递增均值

#8 = I；I—凹半球的圆弧半径

#9 = J；J—预钻孔的半径（J≥R）

#10 = K；K—精加工余量

#3 = r；r—球刀半径
#5 = F；F—切削速度
#0 = A；A—步距的初始角度（假设正好为半球时，则步距的初始角度为 0°）
#2 = C；C—步距角
N010　G90　G00　X[#23]　Y[#24];指令刀具移到工件凹半球圆弧中心上方
N015　Z0　M07；刀具下降到工件表面，打开切削液
N020　WHILE #0LE 90；如果#0(步距角）大于 90°，则程序跳转到 N060 程序段
N025　#101 = [#8 - #3]　* COS[#0 * PI/180]；分层圆弧插补的圆弧半径值计算（刀具中心）
N022　#102 = [#8 - #3]　* SIN[#0 * PI/180]；逐次自上而下的下降深度值计算
N030　G90　G01　Z[- #102]　F[#5];逐次自上而下的下降深度直线插补
N035　G91　X[#101]；直线插补到凹半球曲面上
N040　G02　I[- #101]；逐次整圆分层，整圆圆弧插补
N045　G00　X[- #101]；返回凹半球中心
N050　#0 = #0 + #2；步距角度叠加
N055　ENDW；返回循环体
N060　G90　G00　Z100　M09；快速抬刀，关闭切削液
N065　M99；子程序结束，并返回上一级程序

2. SINUMERIK 802D 数控系统铣削凹半球面类零件曲面的用户 R 参数子程序

（1）L3382. SPF；R 参数子程序名（用键槽铣刀粗加工凹半球曲面程序）
R 参数含义：
R24 = X_0；X_0—工件圆弧中心的 X 绝对坐标值
R25 = Y_0；Y_0—工件圆弧中心的 Y 绝对坐标值
R18 = R；R—安全高度
R19 = Q；Q—粗加工时的深度分层递增均值
R4 = I；I—凹半球的圆弧半径
R5 = J；J—预钻孔的半径（J≥R）
R6 = K；K—精加工余量
R7 = D；D—键槽立铣刀的半径
R9 = F；F—切削速度
N010　G90　G00　X = R24　Y = R25；指令刀具移到凹半球圆弧中心上方
N015　Z = R18　M07；刀具快速下降到工件上方安全距离，打开切削液
N020　R28 = SQRT[R4 * R4 - R5 * R5]；键槽铣刀到达凹半球最深处绝对值
N022　R29 = R28 - R19；第一次加工深度
N025　MARKE1：R30 = SQRT[R4 * R4 - R29 * R29]；当前切削层的圆弧半径
N030　G91　G01　X = R30 - R7　F = R9；移动到刀具中心回转半径处（圆弧半径—键槽刀的半径）
N035　G90　G03　I = -[R30 - R7]　Z = - R29　F = [R9/3]；以刀具中心回转半径螺旋下降

N040　G03　I = －[R30－R7]　F = R9；以刀具中心回转半径（圆弧半径—键槽刀的半径）整圆插补

N045　G91　G01　X = －[R30－R7]　F = 3 * R9；退回到凹半球圆弧中心

N050　G0　Z = R18；刀具快速抬起

N055　R29 = R29－R19；背吃刀量逐次递增一个均值 R19

N060　IF R29 > 0 GOTOB MARKE1；如果#29（分层背吃刀量）大于 0，则程序跳转到标志符 MARKE1 程序段

N065　G90　G00　Z100　M09；快速抬刀，关闭切削液

N070　RET；R 参数子程序结束，并返回上一级程序

（2）L8833. SPF；R 参数子程序名（用球头铣刀精加工凹半球曲面程序）

R 参数含义：

R24 = X_0；X_0—工件圆弧中心的 X 绝对坐标值

R25 = Y_0；Y_0—工件圆弧中心的 Y 绝对坐标值

R18 = R；R—安全高度

R19 = Q；Q—粗加工时的深度分层递增均值

R4 = I；I—凹半球的圆弧半径

R5 = J；J—预钻孔的半径（J≥R）

R6 = K；K—精加工余量

R9 = F；F—切削速度

R7 = r；r—球刀半径

R1 = A；A—步距的初始角度（假设正好为半球时，则步距的初始角度为 0°）

R3 = C；C—步距角

N010　G90　G00　X = R24　Y = R25；指令刀具移到工件凹半球圆弧中心上方

N015　Z0　M07；刀具下降到工件表面，打开切削液

N020　MARKE2：R101 = [R4－R7] * COS[R1]；分层圆弧插补的圆弧半径值计算（刀具中心）

N022　R102 = [R4－R7] * SIN[R1]；逐次自上而下的下降深度值计算

N025　G90　G01　Z = －R102　F = R9；逐次自上而下的下降深度直线插补

N030　G91　X = R101；直线插补到凹半球曲面上

N035　G02　I = －R101；逐次整圆分层、整圆圆弧插补

N040　G00　X = －R101；返回凹半球中心

N045　R1 = R1 + R3；步距角度叠加

N050　IF R1 < = 90 GOTOB MARKE2

；如果 R1(步距角）小于或等于 90°时，则程序跳转到标志符 MARKE2 程序段

N055　G90　G00　Z100　M09；快速抬刀，关闭切削液

N060　RET；R 参数子程序结束，并返回上一级程序

3. FANUC 0i 数控系统铣削凹半球面类零件曲面的用户宏程序

（1）O3382；宏程序名（用键槽铣刀粗加工凹半球曲面程序）

自变量含义：

#24 = X_0；X_0—工件圆弧中心的 X 绝对坐标值
#25 = Y_0；Y_0—工件圆弧中心的 Y 绝对坐标值
#18 = R；R—安全高度
#19 = Q；Q—粗加工时的深度分层递增均值
#4 = I；I—凹半球的圆弧半径
#5 = J；J—预钻孔的半径（J≥R）
#6 = K；K—精加工余量
#7 = D；D—键槽立铣刀的半径
#9 = F；F—切削速度
N010 G90 G00 X#24 Y#25；指令刀具移到凹半球圆弧中心上方
N015 Z#18 M07；刀具快速下降到工件上方安全距离，打开切削液
N020 #28 = SQRT[#4 * #4 - #5 * #5]；键槽铣刀到达凹半球最深处绝对值
N022 #29 = #28 - #19；第一次加工深度
N025 WHILE [#29GE0] D01；如果#29(分层加工深度) 小于 0，则程序跳转到 N065 程序段
N028 #30 = SQRT[#4 * #4 - #29 * #29]；当前切削层的圆弧半径
N030 G91 G01 X[#30 - #7] F#9；移动到刀具中心回转半径处（圆弧半径—键槽刀的半径）
N035 G90 G03 I - [#30 - #7] Z - #29 F[#9/3]；以刀具中心回转半径螺旋下降
N040 G03 I - [#30 - #7] F#9；以刀具中心回转半径（圆弧半径—键槽刀的半径）整圆插补
N045 G91 G01 X - [#30 - #7] F [3 * #9]；退回到凹半球圆弧中心
N050 G90 G00 Z[#18]；刀具快速抬起
N055 #29 = #29 - #19；背吃刀量逐次递增一个均值#19
N060 END1；返回循环体
N065 G00 Z100 M09；快速抬刀，关闭切削液
N070 M99；子程序结束并返回上一级程序
（2）O8833；宏程序名（用球头铣刀精加工凹半球曲面程序）
自变量含义：
#24 = X_0；X_0—工件圆弧中心的 X 绝对坐标值
#25 = Y_0；Y_0—工件圆弧中心的 Y 绝对坐标值
#18 = R；R—安全高度
#19 = Q；Q—粗加工时的深度分层递增均值
#4 = I；I—凹半球的圆弧半径
#5 = J；J—预钻孔的半径（J≥R）
#6 = K；K—精加工余量
#7 = r；r—球刀半径
#9 = F；F—切削速度
#1 = A；A—步距的初始角度（假设正好为半球时，则步距的初始角度为 0°）

#3 = C；C—步距角

N010　G90　G00　X#24　Y#25；指令刀具移到工件凹半球圆弧中心上方

N015　Z0　M07；刀具下降到工件表面，打开切削液

N020　WHILE［#1 LE 90］DO1；如果#1(步距角）大于 90°，则程序跳转到 N060 程序段

N025　#101 =［#4 - #7］ * COS［#1］；分层圆弧插补的圆弧半径值计算（刀具中心）

N028　#102 =［#4 - #7］ * SIN［#1］；逐次自上而下的下降深度值计算

N030　G90　G01　Z - #102；逐次自上而下的下降深度直线插补

N035　G91　X#101；直线插补到凹半球曲面上

N040　G02　I - #101；逐次整圆分层，整圆圆弧插补

N045　G00　X - #101；返回凹半球中心

N050　#1 = #1 + #3；步距角度叠加

N055　END 1；返回循环体

N060　G90　G00　Z100　M09；快速抬刀，关闭切削液

N065　M99；子程序结束并返回上一级程序

4. 编程实例

在铣床或加工中心上加工图 3-103 所示凹半球曲面，凹半球的球半径为 R30mm，零件毛坯尺寸(长 × 宽 × 高）为 100mm × 80mm × 40mm。试用变量(或参数）编写出加工此零件的数控程序。

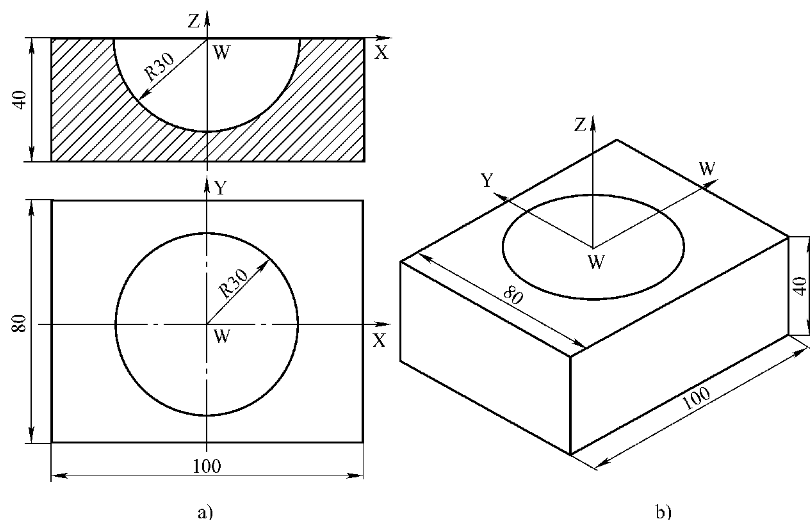


图 3-103　凹半球面零件编程实例示意图

a）尺寸图　b）效果图

解：

（1）工艺设计　建立工件坐标系，确定凹半球的圆弧中心为工件坐标系 X、Y 轴的零点，工件表面为工件坐标系 Z 轴的零点，机床坐标系偏置值设置在 G54 寄存器中。

（2）加工顺序　用 ϕ10mm 麻花钻预钻孔、ϕ10mm 的键槽铣刀粗加工凹半球面、ϕ8mm 的球头铣刀精加工凹半球面。

采用钻孔循环预钻 ϕ10mm 预钻孔，钻孔深度等于凹半球圆弧半径的平方减去预钻孔半径的平方之差开平方根，再减去精加工余量，即(SQRT(30^2-5^2)-0.5)；换装 ϕ10mm 的键槽铣刀粗加工凹半球面，保证粗加工余量的均衡，以螺旋线半径为循环条件进行判断，使每循环一次的径向变化为均值。另外，为了保证精加工余量，粗加工时，高度以一固定值均值递增；换装 ϕ8mm 的球头铣刀精加工凹半球面，为了保证扇形误差的均匀，以圆心角为循环条件进行判断，分层进行圆弧插补。

粗、精加工都采用不对称顺铣削方式。粗加工时，主轴转速为 600r/min，铣削进给速度为 150mm/min；精加工时，主轴转速为 1200r/min，铣削进给速度为 350mm/min；主轴起始位置在零件上方 50mm 处，刀具起始切削安全高度在零件上方 2mm 处，精加工余量为 0.5mm，步距角为 2°。

（3）零件加工程序

1）HNC—21/22M 华中世纪星数控系统。

主程序如下：

```
O××××；文件名
%××××；程序号
N10  T01  M06；调用 1 号刀具麻花钻
N15  G17  G90  G21  G94  G54  G40  G49  G80；程序运行初始状态设置
N20  G43  G00  Z50.0  H01  S800  M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为
     800r/min
N25  X0.0  Y0.0  M07；刀具快速移动到工件坐标零点，打开切削液
N30  G98  G81  X0.0  Y0.0  Z-29.0  R4  F100；调用定位孔固定循环钻削指令
N35  M06  T02；调用 2 号键槽铣刀
N40  G43  G00  Z100  H02  M03  S600；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速 600r/
     min
N45  M98  P3382  X0  Y0  R2  Q1  I30  J5  K0.5  D5  F150；调用粗加工凹半
     球曲面铣削程序
N50  M06  T03；调用 3 号刀具球头铣刀
N55  G43  G00  Z100  H03  M03  S1200；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速
     1200r/min
N60  M98  P3383  X0  Y0  R2  Q1  I30  J5  K0.5  D4  F350  A0  C2；调用精
     加工凹半球曲面铣削程序
N65  G00  Z100.0  M09；刀具退到工件上表面 100mm 处，切削液关闭
N70  G49；取消刀具长度补偿
N75  X0  Y0  M05；刀具退回工件坐标零点，主轴停止
N80  M30；程序结束并返回程序开头
%3382；粗加工凹半球子程序(见上)
⋮
M99；宏程序结束，返回主程序(见上)
%3383；精加工凹半球子程序
```

⋮

M99；宏程序结束，返回主程序

2）SINUMERIK 802D 数控系统。

主程序如下：

```
FZG××××；程序名
N10  T1  D1；调用 1 号刀
N15  G17  G90  G71  G94  G54  G40；程序运行初始状态设置
N20  G00  Z50.0  S800  M03；主轴正转，转速为 800r/min
N25  X0.0  Y0.0  M07；刀具快速移动到工件坐标零点，打开切削液
N30  RTP=50              ；后退平面(绝对值)
     REP=0               ；参考平面(绝对值)
     SDIS=4              ；安全间隙(无符号)
     DP=SQRT[30*30-5*5]；最终钻孔深度(绝对值)
     DPR=0               ；相当于参考平面的最后钻孔深度(无符号)
N35  CYCL81(RTP，REP，SDIS，DP，DPR)；调用循环程序钻孔
N40  M06  T2；调用 2 号刀具键槽铣刀
N45  G00  Z100  D02  M03  S800；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速 800r/min
N50  R24=0；工件圆弧中心的 X 绝对坐标值
     R25=0；工件圆弧中心的 Y 绝对坐标值
     R18=2；安全高度
     R19=1；粗加工时的深度分层递增均值
     R4=30 ；凹半球的圆弧半径
     R5=5 ；预钻孔的半径(J≥R)
     R6=0.5 ；精加工余量
     R7=5；键槽立铣刀的半径
     R9=150；切削速度
N55  L3383；调用键槽铣刀粗加工凹半球 R 参数子程序
N60  M06  T03；调用 T03 球头铣刀
N65  G00  Z100  D03  M03  S1200；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速 1200r/min
N70  R7=4；球刀半径
     R1=0；步距的初始角度(假设正好为半球时，则步距的初始角度为 0°)
     R3=2；步距角
     R9=350；切削速度
N75  L8833；调用球头铣刀精加工凹半球 R 参数子程序
N80  G00  Z100.0  M09；刀具退到工件上表面 100mm 处，切削液关闭
N85  X0  Y0  M05；刀具退回工件坐标零点，主轴停止
N88  D00；取消刀具长度补偿
N90  M02；程序结束并返回程序开头
L3382；粗加工凹半球 R 参数子程序(见上)
```

```
⋮
RET；R 参数子程序结束，返回主程序(见上)
L3383；精加工凹半球 R 参数子程序
⋮
RET；R 参数子程序结束，返回主程序
```

3）FANUC 0i 数控系统。

主程序如下：

```
O××××；程序名
N10  T01  M06；调用 1 号刀具麻花钻
N15  G17  G90  G54  G40  G49  G80；程序运行初始状态设置
N20  G43  G00  Z50.0  H01  S800  M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为
                                      800r/min
N25  X0.0  Y0.0  M07；刀具快速移动到工件坐标零点，打开切削液
N30  G98  G81  X0.0  Y0.0  Z-29  R4  F100；调用定位孔固定循环钻削指令
N35  M06  T02；调用 2 号键槽铣刀
N40  G43  G00  Z100  H02  M03  S800；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速 800r/
                                    min
N45  G65  P3382  X0  Y0  R2  Q1  I30  J5  K0.5  D5  F150；调用粗加工凹半
                                                         球曲面铣削程序
N55  M06  T03；调用 3 号球头铣刀
N60  G43  G00  Z100  H03  M03  S1200；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速
                                     1200r/min
N70  G65  P8833  X0  Y0  R2  Q1  I30  J5  K0.5  D4  F350  A0  C2；调用精加工
                                                               凹半球曲面
                                                               铣削程序
N75  G00  Z100.0  M09；刀具退到工件上表面 100mm 处，切削液关闭
N80  G49；取消刀具长度补偿
N85  X0  Y0  M05；刀具退回工件坐标零点，主轴停止
N90  M30；程序结束并返回程序开头
O3382；粗加工凹半球子程序(见上)
⋮
M99；宏程序结束，返回主程序(见上)
O3383；精加工凹半球子程序
⋮
M99；宏程序结束，返回主程序
```

3.3.8.3 相邻面圆角过渡类零件的宏程序编程

机械零件制造中经常需要加工图 3-104 所示相邻面圆角过渡的零件。

工艺分析：加工此类相邻面圆角过渡零件时，一般采用分层铣削的方式，由下往上(或

由上往下）沿零件轮廓按圆角过渡半径大小由外向内（或由内向外）进行。下面通过一个简单的例子来说明此类零件的编程与加工。

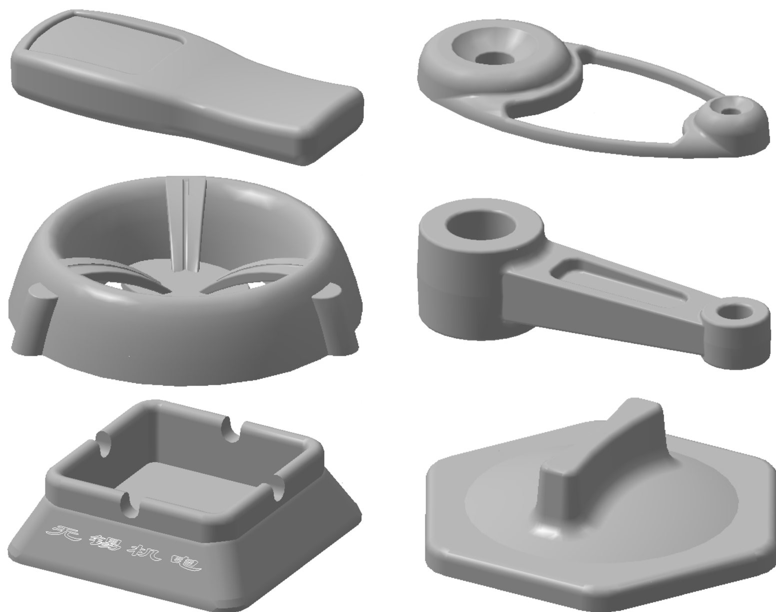


图 3-104　相邻面圆角过渡类零件

例：图 3-105 所示内圆侧面与上平面成圆角过渡，矩形外轮廓侧面与上表面也成圆角过渡，试用变量（或参数）编制一个此类零件的通用程序。

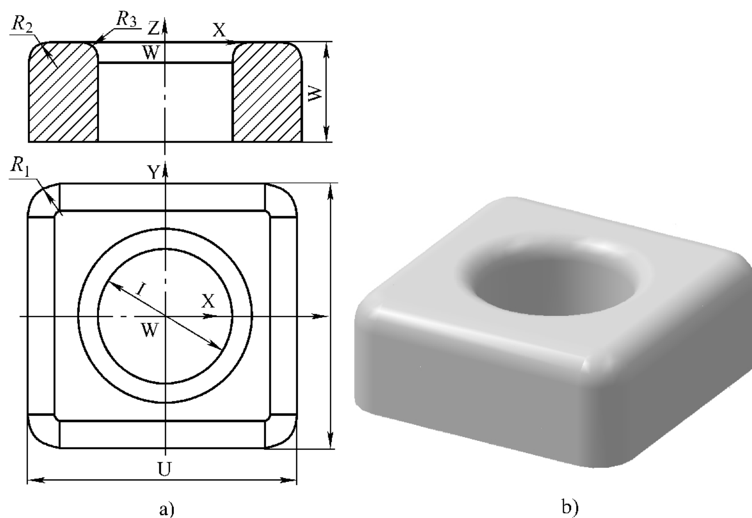


图 3-105　相邻面圆角过渡零件编程示例图
a）零件图　b）效果图

由图 3-105 可知，内圆侧面与上平面的圆角过渡为上下等半径，而矩形外轮廓侧面与上表面也为圆角过渡，但矩形的四个角与上表面的圆角过渡为上下变半径，则圆角半径从矩形

轮廓开始圆角过渡往上均匀地线性递减至上表面。下面分别进行程序结构分析及编程。

根据图 3-106 刀具中心轨迹运动图，先用刀具中心轨迹计算方法来编程。编制一个只用变量不用具体数值的宏程序，然后在主程序中呼出该宏程序的用户宏指令段为上述变量赋值。这样，对于不同大小的圆角过渡半径和不同的步距角，不必更改宏程序，而只需修改主程序中用户宏指令段内的赋值数据就可以了。注意：为了保证圆角过渡的精度，以角度的递增(减）循环条件进行判断，使每循环一次的角度变化为均值，同时 X(Y）和 Z 值随着角度的变化而变化。

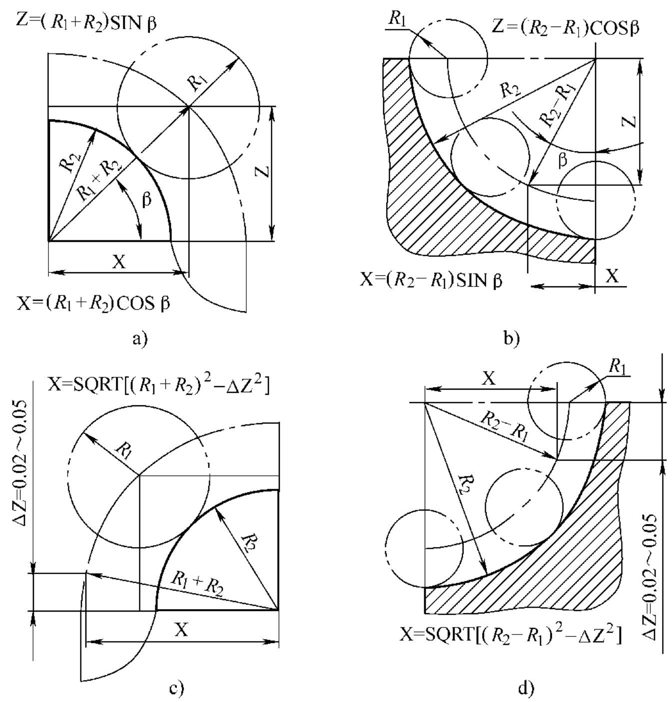


图 3-106　刀具中心轨迹运动图

a）球头铣刀铣凸球面的圆参数方程关系　b）球头铣刀铣凹球面的圆参数方程关系

c）球头刀铣凸球面的圆一般方程关系　d）球头刀铣凹球面的圆一般方程关系

由以上工艺分析，可画出图 3-107 所示倒圆角的宏程序结构流程框图。

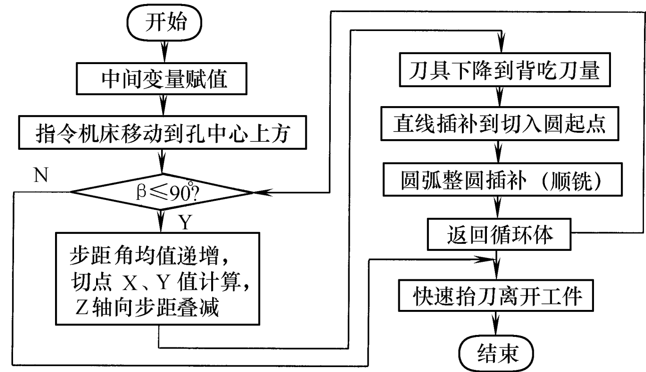


图 3-107　倒圆角的宏程序结构流程框图

1. 倒圆角的宏程序编程

（1） HNC—21/22M 华中世纪星数控系统对相邻面倒圆角过渡的宏程序编制

局部变量含义：

#23 = X_0；X_0—零件中心的工件横向绝对坐标值

#24 = Y_0；Y_0—零件中心的工件纵向绝对坐标值

#17 = R；R—刀具起始切削安全高度

#8 = I；I—基准孔的直径尺寸值

#9 = J；J—倒圆半径的尺寸值

#3 = D；D—刀具半径

#1 = B；B—步距角初始角度值

#4 = E；E—步距角递增均值

#5 = F；F—切削进给速度

```
%183；宏程序号
N005   #32 = #9；倒圆半径的尺寸值赋给中间变量#32
N010   G90   G00   X[#23]   Y[#24]；指令刀具移到工件基准孔上方
N015   Z[#17]；刀具快速下降到工件基准孔上方安全距离
N020   WHILE#1LE90；如果#1 大于 90，则程序跳转至 N050 程序段
N025   #1 = #1 + #4;角步距叠加一个均值
       #30 = [#8/2 + #9] - [#9 + #3] * COS[#1 * PI/180]
       ；X = (基准孔半径 + 倒圆半径) - (倒圆半径 + 刀具半径)COSβ
       #31 = [#9 + #3] * SIN[#1 * PI/180];Z = (倒圆半径 + 刀具半径)SINβ
       #32 = #32 - #31;
N030   G01   Z[ - #32]   F[3 * #5]；刀具以工进速度移动到工件表面下一个倒圆半径
                                     值
N035   X[#23 + #30]   Y0   F[#5]；直线插补到基准孔侧
N040   G03   I[ - #30]   J0；整圆插补（顺铣）
N045   ENDW；返回循环体（N020 程序段）
N050   G00   X[#23]   Y[#24]；刀具快速回到基准孔中心
H055   Z[#17 + 50]；刀具快速抬起离开工作
N060   M99；宏程序结束并返回主程序
```

（2） SINUMERIK 802D 数控系统对相邻面倒圆角过渡的用户 R 参数程序编制

R 参数含义：

R24 = X_0；X_0—零件中心的工件横向绝对坐标值

R25 = Y_0；Y_0—零件中心的工件纵向绝对坐标值

R18 = R；R—刀具起始切削安全高度

R4 = I；I—基准孔的直径尺寸值

R5 = J；J—倒圆半径的尺寸值

R2 = B；B—步距角初始角度值

R7 = D；D—刀具半径

R8 = E；E—步距角递增均值
R9 = F；F—切削进给速度
L183；R 参数程序名
N005 R32 = R5；倒圆半径的尺寸值赋给中间变量 R32
N010 G90 G00 X = R24 Y = R25；指令刀具移到工件基准孔上方
N015 Z = R18；刀具快速下降到工件基准孔上方安全距离
N020 MARKE1：R2 = R2 + R8；步距角叠加一个均值
N025 R30 = [R4/2 + R5] - [R5 + R7] * COS[R2]
；X = (基准孔半径 + 倒圆半径) - (倒圆半径 + 刀具半径)COSβ
R31 = [R5 + R7] * SIN[R2]；Z = (倒圆半径 + 刀具半径)SINβ
R32 = R32 - R31；
N030 G01 Z = -R32 F = 3 * R9；刀具以工进速度移动到工件表面下一个倒圆半径值
N035 X = R24 + R30 Y0 F = R9；直线插补到基准孔侧
N040 G03 I = -R30 J0；整圆插补(顺铣)
N045 IF R2 <= 90 GOTOB MARKE1；如果 R1 小于或等于 90，则跳转至 MARKE1 程序段
N050 G00 X = R24 Y = R25
N055 Z = R18 + 50;刀具快速抬起离开工件
N060 RET;R 参数子程序结束并返回主程序

(3)FANUC 0i 数控系统对相邻面倒圆角过渡的宏程序编制

自变量含义：

#24 = X_0;X_0—零件中心的工件横向绝对坐标值
#25 = Y_0;Y_0—零件中心的工件纵向绝对坐标值
#18 = R;R—刀具起始切削安全高度
#4 = I;I—基准孔的直径尺寸值
#5 = J;J—倒圆半径的尺寸值
#2 = B;B—步距角初始角度值
#7 = D;D—刀具半径
#8 = E;E—步距角递增均值
#9 = F;F—切削进给速度
%183;宏程序名
N005 #32 = #5;倒圆半径的尺寸值赋给中间变量#32
N010 G90 G00 X#24 Y#25;指令刀具移到工件基准孔上方
N015 Z#18;刀具快速下降到工件基准孔上方安全距离
N020 WHILE [#2LE90]DO1;如果#2 大于 90,则程序跳转至 N050 程序段
N025 #2 = #2 + #8;步距角叠加一个均值
#30 = [#4/2 + #5] - [#5 + #7] * COS[#2]
;X = (基准孔半径 + 倒圆半径) - (倒圆半径 + 刀具半径)COSβ

#31 = [#5 + #7] * SIN[#2];Z = (倒圆半径 + 刀具半径)SINβ

#32 = #32 - #31;

N030　G01　Z - #32　F[3 * #9]；刀具以工进速度移动到工件表面下一个倒圆半径值

N035　X[#24 + #30]　Y0　F#9；直线插补到基准孔侧

N040　G03　I - #30　J0；整圆插补(顺铣)

N045　END1；返回循环体(N020 程序段)

N050　G00　X#24　Y#25

N055　Z[#18 + 50]；刀具快速抬起离开工件

N060　M99；宏程序结束并返回主程序

2. 矩形四个圆角变半径倒圆角的宏程序编程

由以上工艺分析，可画出图 3-108 所示变半径倒圆角的宏程序结构流程框图。

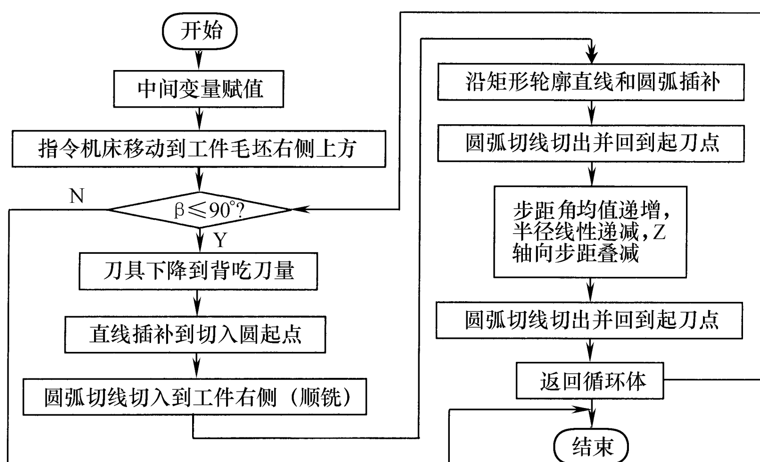


图 3-108　变半径倒圆角的宏程序结构流程框图

(1) HNC—21/22M 华中世纪星数控系统对相邻面倒变半径圆角过渡的宏程序

局部变量含义：

#23 = X_0；X_0—零件中心的工件横向绝对坐标值

#24 = Y_0；Y_0—零件中心的工件纵向绝对坐标值

#20 = U；U—矩形零件的长度值

#21 = V；V—矩形零件的宽度值

#17 = R；R—刀具起始切削安全高度

#9 = J；J—倒圆半径的尺寸值

#10 = K；K—矩形四角倒圆半径

#1 = B；B—步距角初始角度值

#2 = C；C—切入圆弧半径(C > D)

#3 = D；D—刀具半径

#4 = E；E—步距角递增均值

#5 = F；F—切削进给速度

%283；宏程序号

```
N005  #40 = [#20/2 - #10]; X 向定长
      #41 = [#21/2 - #10]; Y 向定长
      #42 = #9; 倒圆半径的尺寸值赋给中间变量#42
      #43 = #10; 矩形四角倒圆半径初始值变量#43
N010  G90  G00  X[#23 + #40 + #10 + #3 + #2]  Y[#24]
                                        ; 指令刀具移到工件右侧下刀点
N015  Z[#17]; 刀具快速下降到工件上方安全距离
N020  WHILE  #1LE90; 如果#1 大于 90, 则跳转至 N105 程序段
N025  Z[ - #42]; 刀具快速下降到工件表面下一个倒圆半径值
N030  G91  G01  X[ - #9 + #9 * COS[#1]]  Y[ - #2]  F[3 * #5]
                              ; 刀具以相对坐标方式工进速度移动到切入圆起点
N035  G02  X[ - #2]  Y[#2]  R[#2]  F[#5]; 圆弧切入
N040  G01  Y[#41]; 定长直线插补
N045  G03  X[ - #43]  Y[#43]  R[#43]; 以#43 为半径圆弧插补
N050  G01  X[ - 2 * #40]; 定长直线插补
N055  G03  X[ - #43]  Y[ - #43]  R[#43]; 以#43 为半径圆弧插补
N060  G01  Y[ - 2 * #41]; 定长直线插补
N065  G03  X[#43]  Y[ - #43]  R[#43]; 以#43 为半径圆弧插补
N070  G01  X[2 * #40]; 定长直线插补
N075  G03  X[#43]  Y[#43]  R[#43]; 以#43 为半径圆弧插补
N080  G01  Y[#41]; 定长直线插补
N085  G02  X[#2]  Y[#2]  R[#2]  F[#5]; 圆弧切出
N090  G01  Y[ - #2]; 直线插补回到起点
N095  #1 = #1 + #4; 步距角均值叠加
      #42 = #42 - #9 * SIN[#1]; 刀具 Z 向逐层上升
      #43 = #10 * COS[#1]; 矩形四角倒圆半径线性减小
N100  ENDW; 返回循环体(N020 程序段)
N105  G90  G00  X[#23 + #20]  Y[#24]; 刀具快速退回到工件右侧
N110  Z[#17 + 50]; 刀具快速抬起离开工件
N115  M99; 宏程序结束并返回主程序
```

（2）SINUMERIK 802D 数控系统对相邻面倒变半径圆角过渡的用户 R 参数程序

R 参数含义：

R24 = X_0；X_0—零件中心的工件横向绝对坐标值

R25 = Y_0；Y_0—零件中心的工件纵向绝对坐标值

R21 = U；U—矩形零件的长度值

R22 = V；V—矩形零件的宽度值

R18 = R；R—刀具起始切削安全高度

R5 = J；J—倒圆半径的尺寸值

R6 = K；K—矩形四角倒圆半径

R2 = B；B—步距角初始角度值
R3 = C；C—切入圆弧半径（C > D）
R7 = D；D—刀具半径
R8 = E；E—步距角递增均值
R9 = F；F—切削进给速度
%283；R 参数程序名

```
N005  R40 = [R21/2 - R6]；X 向定长
      R41 = [R22/2 - R6]；Y 向定长
      R42 = R5；倒圆半径的尺寸值赋给中间变量 R42
      R43 = R6；矩形四角倒圆半径初始值变量 R43
N010  G90  G00  X = R24 + R40 + R6 + R7 + R3  Y = R25
                                        ；指令刀具移到工件右侧下刀点
N015  Z = R18；刀具快速下降到工件上方安全距离
N020  MARKE1：Z = - R42；刀具快速下降到工件表面下一个倒圆半径值
N025  G91  G01  X = - R5 + R5 * COS[R2]  Y = - R3  F = 3 * R9
                                  ；刀具以相对坐标方式工进速度移动到切入圆起点
N030  G02  X = - R3  Y = R3  CR = R3  F = R9；圆弧切入
N035  G01  Y = R41；定长直线插补
N040  G03  X = - R43  Y = R43  CR = R43；以 R43 为半径圆弧插补
N045  G01  X = - 2 * R40；定长直线插补
N050  G03  X = - R43  Y = - R43  CR = R43；以 R43 为半径圆弧插补
N055  G01  Y = - 2 * R41；定长直线插补
N060  G03  X = R43  Y = - R43  CR = R43；以 R43 为半径圆弧插补
N065  G01  X = 2 * R40；定长直线插补
N070  G03  X = R43  Y = R43  CR = R43；以 R43 为半径圆弧插补
N075  G01  Y = R41；定长直线插补
N080  G02  X = R3  Y = R3  CR = R3  F = R9；圆弧切出
N085  G01  Y = - R3；直线插补回到起点
N090  R2 = R2 + R8；角步距均值叠加
N095  R42 = R42 - R5 * SIN[R2]；刀具 Z 向逐层上升
      R43 = R6 * COS[R2]；矩形四角倒圆半径线性减小
N100  IF  R2 <= 90  GOTOB  MARKE1；如果 R2 小于或等于 90，则程序跳转至
                               MARKE1 程序段
N105  G90  G00  X = R24 + R21  Y = R25；刀具快速退回到工件右侧
N110  Z = R18 + 50；刀具快速抬起离开工件
N115  RET；R 参数子程序结束并返回主程序
```

（3）FANUC 0i 数控系统对相邻面倒变半径圆角过渡的宏程序

自变量含义：

#24 = X_0；X_0—零件中心的工件横向绝对坐标值

#25 = Y_0；Y_0—零件中心的工件纵向绝对坐标值
#21 = U；U—矩形零件的长度值
#22 = V；V—矩形零件的宽度值
#18 = R；R—刀具起始切削安全高度
#5 = J；J—倒圆半径的尺寸值
#6 = K；K—矩形四角倒圆半径
#2 = B；B—步距角初始角度值
#3 = C；C—切入圆弧半径(C > D)
#7 = D；D—刀具半径
#8 = E；E—步距角递增均值
#9 = F；F—切削进给速度

```
O283；宏程序名
N005    #40 = #21/2 - #6；X 向定长
        #41 = #22/2 - #6；Y 向定长
        #42 = #5；倒圆半径的尺寸值赋给中间变量#42
        #43 = #6；矩形四角倒圆半径初始值变量#43
N010    G90    G00    X[#24 + #40 + #6 + #7 + #3]    Y#25；指令刀具移到工件右侧下刀点
N015    Z#18；刀具快速下降到工件上方安全距离
N020    WHILE    [#2LE90]    DO1；如果#2 大于 90，则程序跳转至 N105 程序段
N025    Z - #42；刀具快速下降到工件表面下一个倒圆半径值
N030    G91    G01    X[ - #5 + #5 * COS[#2]]    Y - #3    F[3 * #9]
                                        ；刀具以相对坐标方式工进速度移动到切入圆起点
N035    G02    X - #3    Y#3    R#3    F#9；圆弧切入
N040    G01    Y#41；定长直线插补
N045    G03    X - #43    Y#43    R#43；以#43 为半径圆弧插补
N050    G01    X[ - 2 * #40]；定长直线插补
N055    G03    X - #43    Y - #43    R#43；以#43 为半径圆弧插补
N060 G01    Y[ - 2 * #41]；定长直线插补
N065    G03    X#43    Y - #43    R#43；以#43 为半径圆弧插补
N070    G01    X[2 * #40]；定长直线插补
N075    G03    X#43    Y#43    R#43；以#43 为半径圆弧插补
N080    G01    Y#41；定长直线插补
N085    G02    X#3    Y#3    R#3    F#9；圆弧切出
N090    G01    Y - #3；直线插补回到起点
N095    #2 = #2 + #8；步距角均值叠加
        #42 = #42 - #5 * SIN[#2]；刀具 Z 向逐层上升
        #43 = #6 * COS[#2]；矩形四角倒圆半径线性减小
N100    END1；循环体结束
N105    G90    G00    X[#24 + #21]    Y#25；刀具快速退回到工件右侧
```

N110　Z[#18+50]；刀具快速抬起离开工件

N115　M99；宏程序结束并返回主程序

3. 编程实例

在铣床或加工中心上加工图 3-109 所示相邻面圆角过渡零件，零件的基准孔直径为 ϕ40mm，孔口倒圆半径为 6mm，矩形周边倒圆半径为 8mm，矩形四角倒圆半径为 10mm；假设零件基准孔和矩形四角倒圆已加工好了。试编写加工此零件的宏程序。

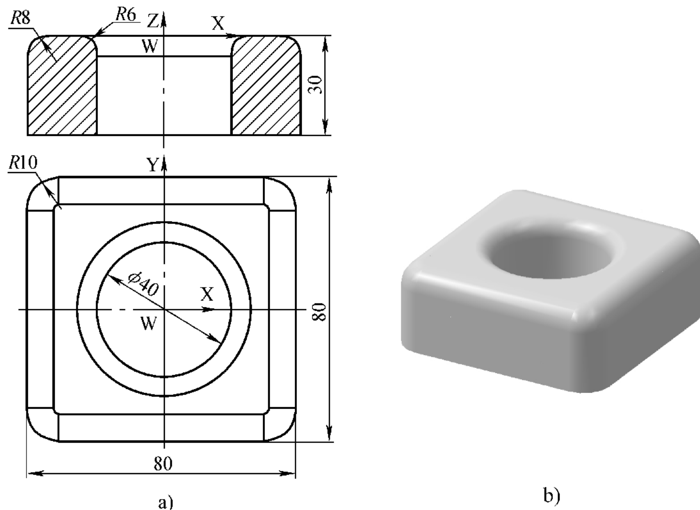


图 3-109　相邻面圆角过渡零件实例图
a）尺寸图　b）效果图

解：

（1）工艺设计　建立工件坐标系，确定零件的对称中心为工件坐标系 X、Y 轴的零点，工件表面为工件坐标系 Z 轴的零点，机床坐标系偏置值设置在 G54 寄存器中。

（2）加工顺序　用 ϕ10mm 球头铣刀先加工基准圆的孔口倒圆，再加工矩形四周的圆弧过渡。

加工都采用不对称顺铣削方式。主轴转速为 1200r/min，铣削进给速度为 350mm/min，主轴起始位置在零件上方 50mm 处，刀具起始切削安全高度在零件上方 2mm 处。

（3）零件加工程序

1）华中 HNC—21/22M 数控系统。

主程序如下：

O××××；文件名

%××××；程序号

N10　T01　M06；调用 1 号刀(ϕ10mm 立铣刀)

N15　G17　G90　G21　G94　G54　G40；程序运行初始状态设置

N20　G43　G00　Z50.0　H01　S1200　M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为 1200r/min

N25　X0.0　Y0.0　M07　D01；刀具快速移动到工件坐标零点，打开切削液

N30　M98　P183　X0　Y0　R2　I40　J6　B0　D5　E2　F350；调用倒圆角过渡宏程

序

N35 M98 P283 X0 Y0 U80 V80 R2 J8 K10 B0 C10 D5 E2 F350；调用倒变半径圆角过渡宏程序

N40 G00 Z100.0 M09；刀具退到工件上表面100mm处，切削液关闭

N45 G49；取消刀具长度补偿

N50 X80 Y0 M05；刀具退到零件右侧，主轴停止

N55 M30；程序结束并返回程序开头

%183；倒圆角过渡宏程序(见上)

⋮

M99；子程序结束，返回主程序

%283；倒变半径圆角过渡宏程序(见上)

⋮

M99；子程序结束，返回主程序

2）SINUMERIK 802D数控系统。

主程序如下：

FZG××××；程序名

N10 T01 D01 M06；调用1号刀(ϕ10mm立铣刀)

N15 G17 G90 G71 G94 G54 G40；程序运行初始状态设置

N20 G00 Z50.0 S1200 M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为1200r/min

N25 X0.0 Y0.0 M07；刀具快速移动到工件坐标零点，打开切削液

N30 R24=0 R25=0 R18=2 R4=40 R5=6 R2=0 R7=5 R8=2 R9=350；参数设置

N35 L183；调用倒圆角过渡R参数程序

N40 R24=0 R25=0 R21=80 R22=80 R18=2 R5=8 R6=10 R2=0 R3=10 R7=5 R8=2 R9=350；参数设置

N45 L283；调用倒变半径圆角过渡R参数程序

N50 G00 Z100.0 M09；刀具退到工件上表面100mm处，切削液关闭

N55 D00；取消刀具长度补偿

N60 X80 Y0 M05；刀具退到零件右侧，主轴停止

N65 M02；程序结束并返回程序开头

L183.SPF；倒圆角过渡R参数子程序(见上)

⋮

RET；R参数子程序结束，返回主程序

L283.SPF；倒变半径圆角过渡R参数子程序(见上)

⋮

RET；R参数子程序结束，返回主程序

3）FANUC 0i数控系统。

主程序如下：

O××××；程序名

N10　T01　M06；调用 1 号刀（ϕ10mm 立铣刀）

N15　G17　G90　G21　G94　G54　G40　G49　G80；程序运行初始状态设置

N20　G43　G00　Z50.0　H01　S1200　M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为 1200r/min

N25　X0.0　Y0.0　M07　D01；刀具快速移动到工件坐标零点，打开切削液

N30　G65　P183　X0　Y0　R2　I40　J6　B0　D5　E2　F350；调用倒圆角过渡宏程序

N35　G65　P283　X0　Y0　U80　V80　R2　J8　K10　B0　C10　D5　E2　F350；调用倒变半径圆角过渡宏程序

N40　G00　Z100.0　M09；刀具退到工件上表面 100mm 处，切削液关闭

N45　G49；取消刀具长度补偿

N50　X80　Y0　M05；刀具退到零件右侧，主轴停止

N55　M30；程序结束并返回程序开头

O183；倒圆角过渡宏程序（见上）

⋮

M99；子程序结束，返回主程序

O283；倒变半径圆角过渡宏程序（见上）

⋮

M99；子程序结束，返回主程序

3.4　数控铣削典型曲面零件的宏程序编程实例分析

实例 1

图 3-110 所示零件，毛坯为 120mm × 100mm × 28mm 的 45 钢规则六面体，试分析其加工工艺并编写其数控铣/加工中心的加工程序。

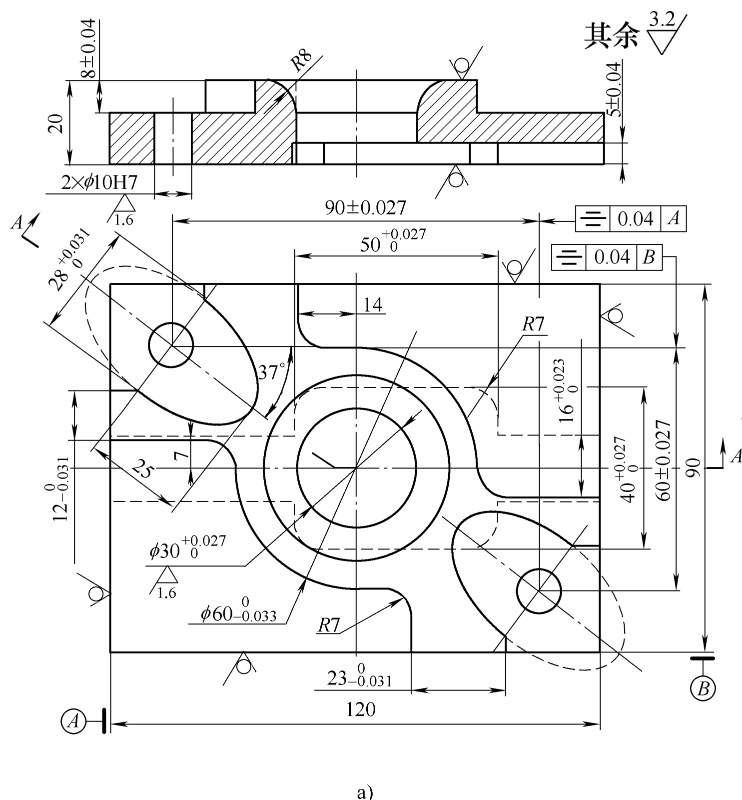
1. 工艺分析

（1）确定工序及工步　该零件正面为 120mm × 90mm × 8mm 的直线与圆弧、椭圆弧光滑的连接凸台，零件中心为 ϕ30mm 的通孔，孔口为 R8mm 的圆弧过渡，左上右下对角上各有一 ϕ10mm 的通孔；零件反面为直线与圆弧组成的矩形两侧开口凹槽。此零件的各尺寸、形状位置、表面粗糙度值及精度要求都较高，因此需分粗、精加工来完成。

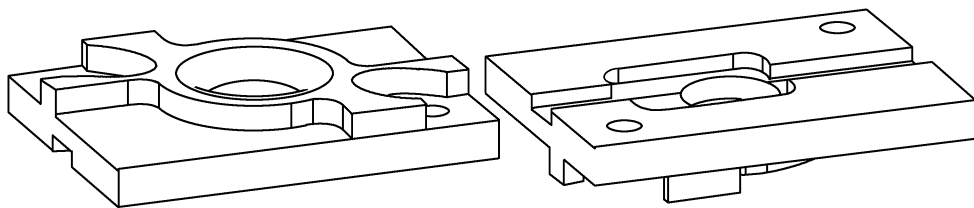
由于毛坯零件为规则的长方体零件，因此可以选择通用夹具——机用平口台虎钳作为零件加工定位夹具。

考虑到零件正反面都需要加工，因此根据零件特性和数控加工工艺要求，先加工正面。先用钻削 ϕ2.5mm 中心孔的 A 型不带护锥的中心钻进行定位孔加工，再用 ϕ9.8mm 麻花钻进行预钻孔加工，零件中心再用 ϕ20mm 麻花钻进行扩孔加工；用 ϕ16mm 粗齿立铣刀进行 ϕ30mm 通孔和凸台余量切除，用 ϕ12mm 粗齿立铣刀进行正面凸台粗加工和孔口球面粗加工，用 ϕ25 ~ 35mm 的镗孔刀精加工 ϕ30mm 通孔；用 ϕ10mm 铰刀铰削 2 × ϕ10mm 通孔；最后用 ϕ12mm 细齿立铣刀精加工凸台，R4mm 球头立铣刀精加工 R8mm 球面。反面用 ϕ12mm 粗齿立铣刀粗铣两侧开口矩形凹槽，最后用 ϕ12mm 细齿立铣刀精铣两侧开口矩形凹槽。

考虑零件尺寸精度要求高，半精加工后要仔细检测尺寸，若精加工后尺寸还不符合要求，如果余量不大，这时可再空走一刀；如果余量较多，则再通过改变刀具半径值后走一刀，直到轮廓尺寸符合图样要求再拆装。



a)



b)

图 3-110 零件示意图

a）零件图 b）效果图

（2）编程与加工难点分析 该零件编程与加工难点在于正面两侧的斜椭圆弧和孔口 $R8$mm 的球面。以工件上表面中心建立工件坐标系，斜椭圆弧和孔口 $R8$mm 的球面需采用宏程序（R 参数）进行编程。斜椭圆弧可通过建立子坐标系和旋转指令编制一个子程序，通过主程序调用子程序加工其中一侧椭圆弧，再通过镜像指令，再次调用子程序加工另一侧椭圆弧。由于是加工椭圆的内侧，因此在选择铣刀尺寸铣削余量时，要注意刀具干涉，铣刀直径不能选得太大。其基点坐标尺寸如图 3-111 所示。由于 $R8$mm 球面余量较多且不均，因此

在铣削时，先由下而上采用立铣刀分层粗铣成形，再用球头铣刀精加工，因此在编程时要注意两种铣刀的刀心位置不同，如图 3-112 所示。

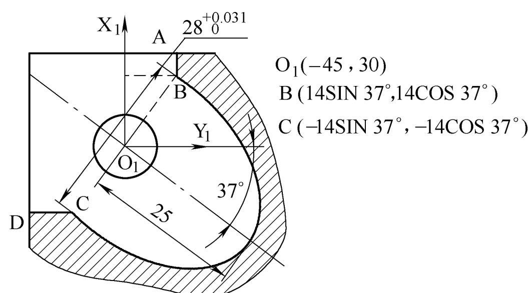


图 3-111　基点坐标尺寸

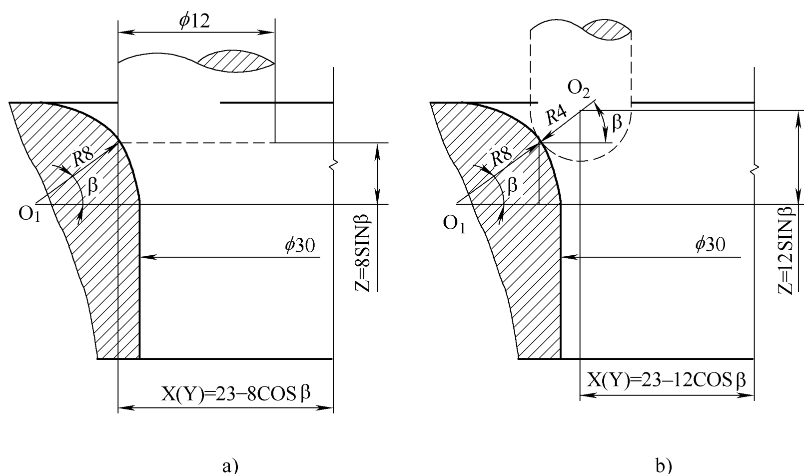


图 3-112　球面刀具切削示意图

a）ϕ12mm 立铣刀　b）R4mm 球头铣刀

2. 宏程序流程结构框图（略）

3. 宏程序编制

（1）FANUC 0i 数控系统

1）椭圆弧宏子程序。

O3411；宏子程序名

N10　#1 =90.0；椭圆弧起始角度

N15　G00　X－75.0　Y45.5；刀具快速移动到切削起点

N20　G01　Z－8.0　F1000；刀具下降到凸台背吃刀量

N25　G42　G01　X－37　Y45.5　F120　D08；建立刀具半径右补偿，直线插补到（－37.0，45.5）处

N30　G52　X－45.0　Y30.0；以（－45.0，30.0）为零点，建立局部工件坐标系

N35　G68　X0　Y0　R－37.0；以局部工件坐标系零点为旋转点，将坐标轴顺时针旋转 37°

N40 X0.0 Y14.0；直线插补至椭圆起始点
N45 #1 =#1 -2；角度变量均值递减 2°
#10 =25.0 * COS［#1］；椭圆弧上的 X 坐标值
#11 =14.0 * SIN［#1］；椭圆弧上的 Y 坐标值
N50 G01 X#10 Y#11；顺着椭圆弧作顺时针直线插补
N55 IF ［#1GT -90］ GOTO 45；如果角度变量#1 大于 -90°，则程序跳转到 N45 程序段
N60 G69；取消坐标系旋转
N65 G52 X0 Y0；取消局部坐标系偏移
N70 X -70.0 Y9.0；直线插补到（ -70.0，9.0）处，刀具离开工件
N75 G00 Z10.0；刀具快速上升至工件上表面 10mm 处
N80 G40 G00 X0.0 Y0.0；取消刀具半径补偿，快速回到工件中心
N85 M99；子程序结束并返回主程序

2）ϕ12mm 的粗齿立铣刀粗铣削孔口 R8mm 球面子程序。

O3412；宏子程序名
N10 G01 Z -8.0 F1000；刀具下降到 ϕ30mm 孔与 R8mm 相切处高度
N15 #2 =0；角度变量初始值赋零
N20 G90 G01 G42 X［23.0 -8.0 * COS［#2］］ Y0 F200 D07 ；建立刀具半径右补偿，直线插补到 R8mm 球面的分层切削圆上
N25 G03 I［ -23.0 +8.0 * COS［#2］］ J0；逆时针整圆插补（顺铣）
N30 G01 Z［ -8.0 +8.0 * SIN［#2］］；刀具上升到下一个分层切削圆的深度
N35 #2 =#2 +5；角度变量均值递增 5°
N40 IF ［#2LE90］ GOTO 20；如果角度变量#2 小于或等于 90°，则程序跳转到 N20 程序段
N45 G40 G00 X0.0 Y0.0；取消刀具半径补偿，刀具快速退回孔中心
N50 Z100.0；刀具快速上升到工件表面上方 100mm 处
N55 M99；子程序结束并返回主程序

3）R4mm 球头立铣刀精铣削孔口 R8mm 球面子程序。

O3413；宏子程序名
N10 G01 Z -8.0 F1000；球头刀心下降到 ϕ30mm 孔与 R8mm 相切处高度
N15 #2 =0；角度变量初始值赋零
N20 G90 G01 X［23.0 -12.0 * COS［#2］］ Y0 F500；直线插补到 R8mm 球面的分层切削圆上
N25 G03 I［ -23.0 +12.0 * COS［#2］］ J0；逆时针整圆插补（顺铣）
N30 G01 Z［ -8.0 +12.0 * SIN［#2］］；刀具上升到下一个分层切削圆的深度
N35 #2 =#2 +2；角度变量均值递增 2°
N40 IF ［#2LE90］ GOTO 20；如果角度变量#2 小于或等于 90°，则程序跳转到 N20 程序段
N45 G00 X0.0 Y0.0；刀具快速退回 ϕ30mm 孔中心

N50　Z100.0；刀具快速上升到工件表面上方 100mm 处
N55　M99；子程序结束并返回主程序
4）零件正面主程序。
O××××；程序名
N10　M06　T01；调用 1 号刀（ϕ2.5mm 中心钻）
N15　G17　G90　G21　G94　G54　G40　G49　G80；程序运行初始状态设置
N20　G43　G00　Z50.0　H01　S2000　M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为 2000r/min
⋮
N195　G91　G28　Z0；刀具 Z 向回参考点
N200　M06　T07；调用 7 号刀（ϕ12mm 粗齿立铣刀）
N205　G90　G43　G00　Z50.0　H07　S1000　M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为 1000r/min
N210　X0.0　Y0.0；刀具快速移到工件右侧中心
N215　G65　P3412；调用 ϕ30mm 孔口 R8mm 球面粗加工宏子程序
N220　G91　G28　Z0；刀具 Z 向回参考点
N225　M06　T08；调用 8 号刀（ϕ12mm 的细齿立铣刀）
N230　G90　G43　G00　Z50.0　H08　S1000　M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为 1000r/min
N235　X0.0　Y0.0；刀具快速移到工件右侧中心
N240　G65　P3411；调用椭圆弧宏子程序精加工左上侧椭圆弧
N245　G51.1　X0；Y 轴镜像
N250　G65　P3411；调用椭圆弧宏子程序精加工右下侧椭圆弧
N255　G50.1　X0；取消 Y 轴镜像
N260　G91　G28　Z0；刀具 Z 向回参考点
N265　M06　T09；调用 9 号刀（R4mm 球头立铣刀）
N270　G90　G43　G00　Z50.0　H09　S2000　M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为 2000r/min
N275　X0.0　Y0.0；刀具快速移到工件右侧中心
N280　G65　P3413；调用 ϕ30mm 孔口 R8mm 球面精加工宏子程序
N285　G91　G28　Z0；刀具 Z 向回参考点
N290　G90　G00　Y100.0　M05；刀具快速退到工件后面，关闭切削液
N295　M30；主程序结束，返回程序起始段
（2）SINUMERIK 802D 数控系统
1）椭圆弧宏子程序。
L3411.SPF；宏子程序名
N10　R1=90.0；椭圆弧起始角度
N15　G00　X-75.0　Y45.5；刀具快速移动到切削起点
N20　G01　Z-8.0　F1000.0；刀具下降到凸台背吃刀量

N25 G42 G01 X－37.0 Y45.5 F120.0 D1；建立刀具半径右补偿，直线插补到（－37.0，45.5）处
N30 TRANS X－45.0 Y30.0 Z0.；可编程零点偏移
N35 AROT RPL＝－37.0；附加旋转－37°
N40 X0.0 Y14.0；直线插补至椭圆起始点
N45 MARE1：R1＝R1－2.0；角度变量均值递减2°
R10＝25.0＊COS［R1］；椭圆弧上的X坐标值
R11＝14.0＊SIN［R1］；椭圆弧上的Y坐标值
N50 G01 X＝R10 Y＝R11；顺着椭圆弧作顺时针直线插补
N55 IF R1＞－90 GOTOB MARKE1；如果角度变量R1大于－90°，则程序跳转到标志符MARKE1程序段
N60 TRANS；取消坐标系旋转和偏移
N65 X－70.0 Y9.0；直线插补到（－70.0，9.0）处，刀具离开工件
N70 G00 Z10.0；刀具快速上升至工件上表面10mm处
N75 G40 G00 X0.0 Y0.0；取消刀具半径补偿，快速回到工件中心
N80 RET；子程序结束并返回主程序

2）ϕ12mm的粗齿立铣刀粗铣削孔口R8mm球面子程序。

L3412.SPF；宏子程序名
N10 G01 Z－8.0 F1000.0；刀具下降到ϕ30mm孔与R8mm相切处高度
N15 R2＝0.；角度变量初始值赋零
N20 MARKE1：G90 G01 G42 X＝23.0－8.＊COS［R2］ Y0 F200 D7；建立刀具半径右补偿，直线插补到R8mm球面的分层切削圆上
N25 G03 I＝－23.0＋8.＊COS［R2］ J0；逆时针整圆插补（顺铣）
N30 G01 Z＝－8.0＋8.＊SIN［R2］；刀具上升到下一个分层切削圆的深度
N35 R2＝R2＋5.0；角度变量均值递增5°
N40 IF R2＜＝90. GOTOB MARKE1；如果角度变量R2小于或等于90°，则程序跳转到标识符MARKE1程序段
N45 G40 G00 X0.0 Y0.0；取消刀具半径补偿，刀具快速退回孔中心
N50 Z100.0；刀具快速上升到工件表面上方100mm处
N55 RET；子程序结束并返回主程序

3）R4mm球头立铣刀精铣削孔口R8mm球面子程序。

L3413.SPF；宏子程序名
N10 G01 Z－8.0 F1000.；球头刀心下降到ϕ30mm孔与R8mm相切处高度
N15 R2＝0.；角度变量初始值赋零
N20 MARKE1：G90 G01 X＝23.0－12.0＊COS［R2］ Y0. F500.；直线插补到R8mm球面的分层切削圆上
N25 G03 I＝－23.0＋12.＊COS［R2］ J0；逆时针整圆插补（顺铣）
N30 G01 Z＝－8.0＋12.＊SIN［R2］；刀具上升到下一个分层切削圆的深度
N35 R2＝R2＋2.0；角度变量均值递增2°

N40　IF　R2 < = 90.　GOTOB　MARKE1；如果角度变量 R2 小于或等于 90°，则程序跳转到标记符 MARKE1 程序段
N45　G00　X0.0　Y0.0；刀具快速退回 ϕ30mm 孔中心
N50　Z100.0；刀具快速上升到工件表面上方 100mm 处
N55　RET；子程序结束并返回主程序

4）零件正面主程序。

FZG × × ×；程序名
N10　M06　T1　D1；调用 1 号刀（ϕ2.5mm 中心钻）
N15　G17　G90　G71　G94　G54　G40　G49；程序运行初始状态设置
N20　G43　G00　Z50.0　S2000　M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为 2000r/min
⋮
N195　G91　G74　Z0；刀具 Z 向回参考点
N200　M06　T7　D7；调用 7 号刀（ϕ12mm 粗齿立铣刀）
N205　G90　G43　G00　Z50.0　S1000　M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为 1000r/min
N210　X0.0　Y0.0；刀具快速移到工件右侧中心
N215　L3412；调用 ϕ30mm 孔口 R8mm 球面粗加工宏子程序
N220　G91　G74　Z0；刀具 Z 向回参考点
N225　M06　T8　D8；调用 8 号刀（ϕ12mm 细齿立铣刀）
N230　G90　G43　G00　Z50.0　S1000　M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为 1000r/min
N235　X0.0　Y0.0；刀具快速移到工件右侧中心
N240　L3411；调用椭圆弧宏子程序精加工左上侧椭圆弧
N245　MIRROR　X0；Y 轴镜像
N250　L3411；调用椭圆弧宏子程序精加工右下侧椭圆弧
N255　MIRROR；取消 Y 轴镜像
N260　G91　G74　Z0；刀具 Z 向回参考点
N265　M06　T9　D9；调用 9 号刀（R4mm 球头立铣刀）
N270　G90　G43　G00　Z50.0　S2000　M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为 2000r/min
N275　X0.0　Y0.0；刀具快速移到工件右侧中心
N280　L3413；调用 ϕ30mm 孔口 R8mm 球面精加工宏子程序
N285　G91　G74　Z0；刀具 Z 向回参考点
N290　G90　G00　Y100.0　M05；刀具快速退到工件后面，关闭切削液
N295　M02；主程序结束，返回程序起始段

（3）HNC—21/22M 华中世纪星数控系统

1）椭圆弧宏子程序。

%3411；宏子程序名

N10 #1 =90.0；椭圆弧起始角度

N15 G00 X-75.0 Y45.5；刀具快速移动到切削起点

N20 G01 Z-8.0 F1000；刀具下降到凸台背吃刀量

N25 G42 G01 X-37 Y45.5 F120 D08；建立刀具半径右补偿，直线插补到（-37.0，45.5）处

N30 G68 X-45.0 Y30.0 R-37.0；以（-45.0，30.0）为旋转零点，将坐标轴顺时针旋转 37°

N35 X-45.0 Y30.0；直线插补至椭圆起始点

N40 WHILE #1GE-90；如果角度变量#1 小于-90°，则程序跳转到 N60 程序段

N45 #1 =#1 -2.0；角度变量均值递减 2°

#10 =25.0 * COS [#1 * PI/180]；椭圆弧上的 X 坐标值

#11 =14.0 * SIN [#1 * PI/180]；椭圆弧上的 Y 坐标值

N50 G01 X [-45.0 +#10] Y [30.0 +#11]；顺着椭圆弧作顺时针直线插补

N55 ENDW；循环结束，执行下条语句

N60 G69；取消坐标系旋转

N65 X-70.0 Y9.0；直线插补到（-70.0，9.0）处，刀具离开工件

N70 G00 Z10.0；刀具快速上升至工件上表面 10mm 处

N75 G40 G00 X0.0 Y0.0；取消刀具半径补偿，快速回到工件中心

N80 M99；子程序结束并返回主程序

2）ϕ12mm 的粗齿立铣刀粗铣削孔口 R8mm 球面子程序。

%3412；宏子程序名

N10 G01 Z-8.0 F1000；刀具下降到 ϕ30mm 孔与 R8mm 相切处高度

N15 #2 =0；角度变量初始值赋零

N20 WHILE #2LT90；如果角度变量#2 大于或等于 90°，则程序跳转到 N50 程序段

N25 G90 G01 G42 X [23.0-8. * COS [#2 * PI/180]] Y0 F200 D07；建立刀具半径右补偿，直线插补到 R8mm 球面的分层切削圆上

N30 G03 I [-23.0 +8. * COS [#2 * PI/180]] J0；逆时针整圆插补（顺铣）

N35 G01 Z [-8.0 +8. * SIN [#2 * PI/180]]；刀具上升到下一个分层切削圆的深度

N40 #2 =#2 +5.；角度变量均值递增 5°

N45 ENDW；循环结束

N50 G40 G00 X0.0 Y0.0；取消刀具半径补偿，刀具快速退回孔中心

N55 Z100.0；刀具快速上升到工件表面上方 100mm 处

N60 M99；子程序结束并返回主程序

3）R4mm 球头立铣刀精铣削孔口 R8mm 球面子程序。

%3413；宏子程序名

N10 G01 Z-8.0 F1000；球头刀心下降到 ϕ30mm 孔与 R8mm 相切处高度

N15 #2 =0；角度变量初始值赋零

N20 WHILE #2LT90；如果角度变量#2 大于或等于 90°，则程序跳转到 N50 程序段

N25　G90　G01　X［23.0－12.0＊COS［#2＊PI/180］］　Y0　F500；直线插补到 $R8$mm 球面的分层切削圆上
N30　G03　I［－23.0＋12.0＊COS［#2＊PI/180］］　J0；逆时针整圆插补（顺铣）
N35　G01　Z［－8.0＋12.0＊SIN［#2＊PI/180］］；刀具上升到下一个分层切削圆的深度
N40　#2＝#2＋2；角度变量均值递增 2°
N45　ENDW；循环结束
N50　G00　X0.0　Y0.0；刀具快速退回 $\phi30$mm 孔中心
N55　Z100.0；刀具快速上升到工件表面上方 100mm 处
N60　M99；子程序结束并返回主程序

4）零件正面主程序。

O××××；程序名
%3400；程序号
N10　M06　T01；调用 1 号刀（$\phi2.5$mm 中心钻）
N15　G17　G90　G21　G94　G54　G40　G49　G80；程序运行初始状态设置
N20　G43　G00　Z50.0　H01　S2000　M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为 2000r/min
⋮
N195　G91　G28　Z0；刀具 Z 向回参考点
N200　M06　T07；调用 7 号刀（$\phi12$mm 粗齿立铣刀）
N205　G90　G43　G00　Z50.0　H07　S1000　M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为 1000r/min
N210　X0.0　Y0.0；刀具快速移到工件右侧中心
N215　M98　P3412；调用 $\phi30$mm 孔口 $R8$mm 球面粗加工宏子程序
N220　G91　G28　Z0；刀具 Z 向回参考点
N225　M06　T08；调用 8 号刀（$\phi12$mm 细齿立铣刀）
N230　G90　G43　G00　Z50.0　H08　S1000　M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为 1000r/min
N235　X0.0　Y0.0；刀具快速移到工件右侧中心
N240　M98　P3411；调用椭圆弧宏子程序精加工左上侧椭圆弧
N245　G24　X0.；Y 轴镜像
N250　M98　P3411；调用椭圆弧宏子程序精加工右下侧椭圆弧
N255　G25　X0；取消 Y 轴镜像
N260　G91　G28　Z0；刀具 Z 向回参考点
N265　M06　T09；调用 9 号刀（$R4$mm 球头立铣刀）
N270　G90　G43　G00　Z50.0　H09　S2000　M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为 2000r/min
N275　X0.0　Y0.0；刀具快速移到工件右侧中心
N280　M98　P3413；调用 $\phi30$mm 孔口 $R8$mm 球面精加工宏子程序

N285　G91　G28　Z0；刀具 Z 向回参考点

N290　G90　G00　Y100.0　M05；刀具快速退到工件后面，关闭切削液

N295　M30；主程序结束，返回程序起始段

实例 2

图 3-113 所示零件，毛坯为 139mm×99mm×24mm 的 45 钢规则六面体，试分析其加工工艺并编写其数控铣/加工中心的加工程序。

技术要求

1. 未注尺寸公差按 GB/T1804—m。
2. 去毛刺。

图 3-113　零件示意图

1. 工艺分析

（1）确定工序及工步　由图 3-113 可知，该零件正面中心为直线与圆弧光滑连接的凸台，零件中心为 ϕ40mm 的通孔，孔口为 *C*3mm 倒角过渡，凸台轮廓外侧为 *R*5mm 圆弧过渡；左侧有一长 60mm、宽 15.5mm 由 *R*50mm 组成的凹圆柱曲面，右侧上方有一 25mm×20mm×6mm 的封闭凹槽、中心有一 16mm×12mm×5mm 的开口半圆键槽，右侧下方有一 18mm×10mm×6mm 的键形凸台；零件正面上还有 4×M10mm 螺纹不通孔、2×ϕ12mm（H7）通孔。由于该零件的各尺寸、形状和位置精度及表面粗糙度值要求都较高，因此需分粗、精加工来完成。

由于毛坯零件为 139mm × 99mm × 10mm 规则的长方体零件，因此可以选择通用夹具——机用平口台虎钳作为零件加工定位夹具。

根据零件特性和数控加工工艺要求，先用钻削 ϕ2.5mm 中心孔的 A 型不带护锥的中心钻进行定位孔加工，再用 ϕ8.4mm 麻花钻进行螺纹底孔钻削，用 ϕ11.8mm 麻花钻对 ϕ12mm（H7）进行扩孔钻削，用 ϕ12mm 粗齿立铣刀进行各凸台、圆柱面及 ϕ40mm 通孔余量切除，用 ϕ35 ~ 45mm 的镗孔刀精加工 ϕ40mm 通孔，用 ϕ12mm 铰刀铰削 2 × ϕ12mm 通孔，用 M10（H6）mm 丝锥刀攻削 4 × M10（H6）mm 螺纹不通孔；最后用 *R*4mm 球头立铣刀精加工 *R*50mm 的凹圆柱曲面、凸台外轮廓的 *R*5mm 过渡球面和孔口 *C*3mm 锥面。

（2）编程与加工难点分析　该零件编程与加工难点在于工件左侧的 *R*50mm 凹圆柱曲面、凸台外轮廓的 *R*5mm 过渡圆弧球面和孔口 *C*3mm 的锥面，需采用宏程序（R 参数）进行编程。将工件坐标零点设置在 ϕ40mm 圆槽中心上表面，水平方向为 X 轴，纵向为 Y 轴，垂向为 Z 轴。在编制左侧 *R*50mm 凹圆柱曲面程序时，最好在凹圆柱曲面顶点上方建立一个新坐标系，建立 G19（YOZ 平面），如图 3-114a 所示。可分别采用“行切法”或“阶梯法”对凹圆柱曲面进行编程加工。如图 3-114a 所示，先用立铣刀采用阶梯法粗铣去余量，再用球头立铣刀采用图 3-114b 所示行切法精铣凹圆柱曲面；或者采用图 3-114c 所示阶梯法精铣凹圆柱曲面。各相互关系如图 3-114d 所示。

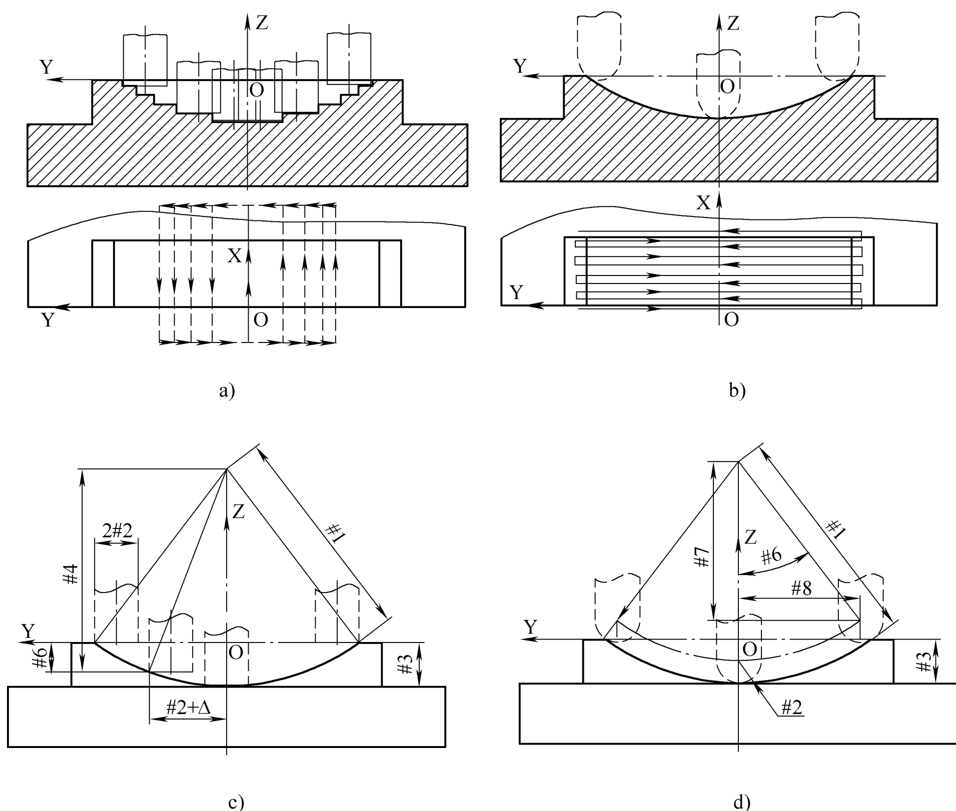


图 3-114　凹圆柱面加工示意图

a）立铣刀阶梯法粗铣去余量　b）球头铣刀行切法精铣球面

c）阶梯法精铣凹圆柱曲面　d）球头铣刀变量关系

立铣刀（图 3-114c）：

#2 = 立铣刀半径；

$\#4 = \sqrt{\#1^2 - (\#2 + \Delta)^2}$；($\#2 \leqslant \Delta \leqslant \sqrt{\#1^2 - (\#1 - \#3)^2}$)

#6 = #4 −（#1 − #3）；

球头铣刀（图 3-114d）：

#4 = #1 − #3

$\#5 = \sqrt{(\#1 - \#2)^2 - (\#1 - \#3)^2}$

由于凸台是由直线和圆弧光滑连接而成的不规则轮廓，因此在编程时可通过改变刀具半径补偿量来分层铣削 *R*5mm 过渡圆球面，孔口的 *C*3mm 锥面同样可用此方法编程。在铣削时，先由下而上采用立铣刀分层粗铣成形，再用球头铣刀精加工，因此在编程时要注意两种铣刀的刀心位置不同，如图 3-115 所示。

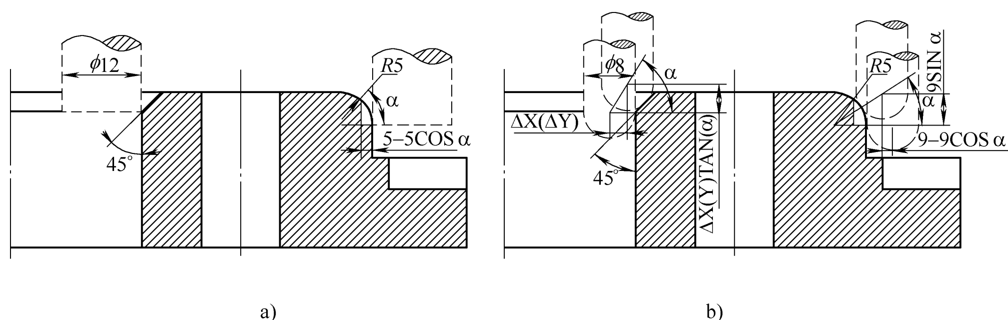


图 3-115 球面与锥面加工示意图

a）φ12mm 立铣刀铣 *R*5mm 过渡圆弧面及 *C*3mm 锥面

b）*R*4mm 球头铣刀铣 *R*5mm 过渡圆弧面及 *C*3mm 锥面

φ12mm 立铣刀铣 *R*5mm 过渡圆弧面及 *C*3mm 锥面时的刀具半径值 *D*：

铣凸台外轮廓 *R*5mm 过渡圆弧面时：

刀具半径补偿值（*D*）= 铣刀半径值（6）− 半径递减值（5 − 5COSα）

刀具中心离工件表面高度：*H* = −5 + 5SINα

铣 φ40mm 孔口 *C*3mm 锥面时：

刀具半径补偿值（*D*）= 铣刀半径值（6）− 半径递减均值（Δ）

刀具中心离工件表面高度：*H* = −5 + 半径递减值（Δ）

*R*4mm 立铣刀铣 *R*5mm 过渡圆弧面及锥面时的刀具半径值 *D*：

铣凸台外轮廓 *R*5mm 过渡圆弧面时：

刀具半径补偿值（*D*）= 铣刀半径值（4）− 半径递减值（9 − 9COSα）

刀具中心离工件表面高度：*H* = −5 + 9SINα

铣 φ40mm 孔口 *C*3mm 锥面时：

刀具半径补偿值（*D*）= 铣刀半径值（4）− 半径递减均值（Δ）

刀具中心离工件表面高度：*H* = −3 + ΔTAN45°

在手工编程加工中，半径补偿值输入 CNC 存储器的方法有两种，方法一是用手动的方法将要使用的刀具半径值直接输入 CNC 存储器，这种方法输入的半径值是固定不变的；方

法二是在程序中用指令将对应的半径值输入 CNC 存储器，这种输入方法在程序运行中可以将半径值输入存储器。

FANUC 系统中，当刀具半径值为变量时，常用指令 G10　L12　P_　R_ 来进行刀具半径补偿，指令格式中 P 为刀具补偿号，R 为刀具补偿值。

SIEMENS 系统中，当刀具半径值为变量时，则用指令$ TC_ DP6［t，d］=R_ 将对应的刀具半径值变量输入到 CNC 存储器中，指令中 t 为刀具号，d 为刀具补偿号，R 为计算参数。

2. 宏程序流程结构框图（略）

3. 宏程序编制

（1）FANUC 0i 数控系统

1）阶梯法粗铣 *R*50mm 圆柱曲面程序。

```
O3421；程序名
N010　M06　T04；调用 4 号刀（φ12mm 粗齿直柄立铣刀）
N015　G17　G90　G94　G21　G80　G49　G40　G69　G54；参数设置，程序初始化
N020　G43　G00　Z150.0　H04　S800　M03；调用刀具长度补偿，主轴正转，转速
                                      800r/min
N025　X-80.0　Y0.0；刀具快速移动到下刀点
N030　G52　X-69.5　Y0.0　Z0.0；以坐标点（-69.5，0，0）为零点，建立局部工
                                      件坐标系
N035　#1=50.0；凹圆柱半径
N040　#2=6.0；将平底立铣刀刀具半径赋给变量#2
      #3=10.0；工件表面到曲面底面的高度
N045　#5=15.5；曲面厚度
N050　#6=INT SQRT［#1*#1-#2*#2］-［#1-#3］；将分层背吃刀量值取整赋给
                                      变量#6
N055　G01　Z-#6　F500　M08；刀具下降到凹圆柱曲面底部粗铣深度，切削液打开
N060　G01　X［#5+0.5］　F100；直线插补，粗切凹圆柱曲面余量
N065　#2=#2+2.0；凹圆柱底部切削宽度均值递增 2mm
N070　#6=INT SQRT［#1*#1-#2*#2］-［#1-#3］；将分层背吃刀量值取整赋给
                                      变量#6
N075　G01　Z-#6　F500；刀具上升至下一个分层切削高度
N080　G01　Y#2　F100；Y 正向直线插补，粗切凹圆柱曲面余量
N085　X-0.5；X 负向直线插补，粗切凹圆柱曲面余量
N090　Y-#2；Y 负向直线插补，粗切凹圆柱曲面余量
N095　X［#5+0.5］；X 正向直线插补，粗切凹圆柱曲面余量
N100　Y0；Y 正向直线插补，粗切凹圆柱曲面余量
N105　IF　［#2LE［SQRT［#1*#1-［#1-#3］*［#1-#3］］］］　GOTO　65；
      如果刀具背吃刀量#2 小于或等于凹圆柱曲面高度，则程序跳转到 N65 程序段
N110　G52　X0.0　Y0.0　Z0.0；取消局部工件坐标系
```

N115 G00 Z150.0 M09；刀具快速抬起至工件表面上 150mm 处
N120 G00 X－80.0 Y0.0 M05；刀具快速移动至工件左侧，关闭切削液
N125 M30；程序结束，返回程序开头

2）行切法精铣 *R*50mm 圆柱曲面程序。

O3422；程序名
N010 M06 T08；调用 8 号刀（*R*4mm 球头铣刀）
N015 G17 G90 G94 G21 G80 G49 G40 G69 G54；参数设置，程序初始化
N020 G43 G00 Z150.0 H08 S1800 M03；调用刀具长度补偿，主轴正转，转速 1800r/min
N025 X－80.0 Y0.0；刀具快速移动到工件左侧
N030 G52 X－69.5 Y0.0 Z0.0；以坐标点（－69.5，0，0）为零点，建立局部工件坐标系
N035 #1＝50.0；凹圆弧半径
#2＝4.0；将球头铣刀刀具半径赋给变量#2
#3＝10.0；工件表面到曲面底面的高度
#4＝15.5；曲面厚度
#5＝ACOS［［#1－#3］/#1］；圆弧圆心与工件表面起始角度
#6＝0；X 向分层切削初始值
#7＝0.1；X 向分层递进步距
#8＝［#1－#3］－［#1－#2］*COS［#5］；圆弧曲面顶点的 Z 向坐标值
#9＝［#1－#2］*SIN［#5］；圆弧曲面顶点的 Y 向坐标值
N040 G19 G90 G01 X－1.0 Y#9 Z#8 F500；建立 YOZ 平面，刀具以 500mm/min 的工进速度移动到循环起点
N045 WHILE ［#6LE#4］ DO1；如果#6 大于#4，则程序跳转到 N090 程序段
N050 G01 X#6 F200 M08；X 向分层切削工进一个步距，切削液打开
N055 G02 Y－#9 Z#8 R［#1－#2］ F200；直线插补至曲面右侧
N060 #6＝#6＋#7；步距均值递增
N065 IF ［#6GT#4］ GOTO 90；如果#6 大于#4，则程序跳转至 N090 程序段
N070 G01 X#6；X 向分层切削再工进一个步距
N075 G90 G03 Y#9 Z#8 R［#1－#2］ F200；直线插补至曲面右侧
N080 #6＝#6＋#7；步距均值递增
N085 END1；循环 1 结束，返回循环起始程序段 N045
N090 G52 X0 Y0 Z0；取消局部工件坐标系
N095 G17 G49 G00 Z150.0 M09；建立 XOY 平面，取消刀具长度补偿，关闭切削液
N100 X－100.0 Y0 M05；刀具快速退到工件左侧，主轴停止
N105 M30；程序结束，返回程序开头

3）粗铣凸台外轮廓 *R*5mm 圆弧过渡面和 ϕ40mm 孔口 *C*3mm 圆锥面。

O3423；程序名

N005　M06　T04；调用 4 号刀（ϕ12mm 粗齿直柄立铣刀）
N010　G17　G90　G94　G21　G40　G49　G80　G69　G15　G54；系统参数初始化
N015　G52　X0　Y0　Z0；取消局部工件坐标系
N020　G50.1　X0　Y0；取消可编程镜像
N025　M03　S1500；主轴正转，转速 1500r/min
N030　G00　G43　H04　Z100.0；建立刀具长度补偿，并快速移到初始平面
N035　X－44.0　Y0.0　M08；刀具快速移动至下刀点，打开切削液
N040　G01　Z－5.0　F1000；刀具以 1000mm/min 工进速度下降至圆弧深度
N045　#11＝0；将初始角步距赋给变量#11
N050　#12＝6.1；将铣刀的半径值赋给变量#12（留 0.1mm 精加工余量）
N055　#13＝5.0；将倒圆半径值赋给变量#13
N060　#100＝#13－#13＊COS［#11］；半径递减均值
N065　#101＝#12－#100；半径值
N070　#102＝－#13＋#13＊SIN［#11］；Z 向深度值
N075　G10　L12　P04　R［#101］；通过可编程参数指令 G10 将宏参数计算得到的 #101单元中的数据传入半径补偿地址单元 D04 内
N080　G41　G01　X－35.0　Y0　Z#102　F80　D4；建立刀具半径左补偿，直线插补到轮廓切入点
N085　G02　X［－35.0＊SIN［11.537］］　Y［35.0＊COS［11.537］］　R35.0；顺时针圆弧插补
N090　G02　X［30.0＋25.0＊COS［44.4153］］　Y［25.0＊SIN［44.4153］］　R65.0；圆弧插补
N095　G02　X［30.0＋25.0＊SIN［19.4712］］　Y［－25.0＊COS［19.4712］］　R25.0；圆弧插补
N100　G01　X［35.0＊SIN［19.4712］］　Y［－35.0＊COS［19.4712］］；直线插补
N105　G02　X－35.0　Y0.0　R35.0；顺时针圆弧插补
N110　#11＝#11＋5.0；角步距均值递增
N115　IF　［#11LE90］　GOTO　60；如果#11 小于或等于 90°，则程序跳转到 N060 程序段
N120　G00　Z10.0；刀具快速抬起至工件表面 10mm 处
N125　X0.0　Y0.0；刀具快速移动至工件 XY 轴零点
N130　G01　Z－3.0　F1000；刀具以 1000mm/min 的工进速度下降至倒角深度处
N135　#21＝0；深度递增初始值赋给变量#21
N140　#22＝6.0；铣刀半径值赋给变量#22
N145　#23＝0.1；深度逐次递增均值赋给变量#23
N150　#24＝TAN［45］；三角形两直角比的正切（斜率）值赋给变量#24
N155　#25＝3.0；倒角高度值赋给变量#25
N160　#103＝#22－#21＊#24；分层刀具半径补偿值
N170　G10　L12　P04　R［#103］；通过可编程参数指令 G10 将宏参数计算得到的

#103单元中的数据传入半径补偿地址单元 D04 内

N170 G41 G01 X20.0 Y0.0 F500 D4；建立刀具半径左补偿，直线插补到分层切削圆的半径上

N175 G03 I-20.0 Y0.0；逆时针整圆插补

N180 #21=#21+#23；分层背吃刀量均值递增

N185 G01 Z[-3.0+#21]；直线插补到分层背吃刀量

N190 IF [#21LE#25] GOTO 160；如果#21 小于或等于#25，则程序跳转到 N160 程序段

N195 G40 G00 X0.0 Y0.0 M09；取消刀具半径补偿，刀具退到工件零点，关闭切削液

N200 G49 Z100.0 M05；取消刀具长度补偿，刀具退回起始高度，主轴停止旋转

N205 M30；程序结束，返回程序起始段

4）精铣凸台外轮廓 $R5$mm 圆弧过渡面和 $\phi40$mm 孔口 $C3$mm 圆锥面。

O3424；程序名

N005 M06 T08；调用 8 号刀（$R4$mm 球头铣刀）

N010 G17 G90 G94 G21 G40 G49 G80 G69 G15 G54；系统参数初始化

N015 G52 X0 Y0 Z0；取消局部工件坐标系

N020 G50.1 X0 Y0；取消可编程镜像

N025 M03 S1500；主轴正转，转速 1500r/min

N030 G00 G43 H08 Z100.0；建立刀具长度补偿，并快速移到初始平面

N035 X-44.0 Y0.0 M08；刀具快速移动至下刀点，打开切削液

N040 G01 Z-5.0 F1000；刀具以 1000mm/min 工进速度下降至圆弧深度

N045 #11=0；将初始角步距赋给变量#11

N050 #12=4.0；将球头铣刀的半径值赋给变量#12

N055 #13=5.0；将倒圆半径值赋给变量#13

N060 #100=[#12+#13]-[#12+#13]*COS[#11]；半径递减均值

N065 #101=#12-#100；半径值

N070 #102=-#13+[#12+#13]*SIN[#11]；Z 向深度值

N075 G10 L12 P08 R[#101]；通过可编程参数指令 G10 将宏参数计算得到的#101单元中的数据传入半径补偿地址单元 D08 内

N080 G41 G01 X-35.0 Y0 Z#102 F80 D8；建立刀具半径左补偿，直线插补到轮廓切入点

N085 G02 X[-35.0*SIN[11.537]] Y[35.0*COS[11.537]] R35.0；顺时针圆弧插补

N090 G02 X[30.0+25.0*COS[44.4153]] Y[25.0*SIN[44.4153]] R65.0；圆弧插补

N095 G02 X[30.0+25.0*SIN[19.4712]] Y[-25.0*COS[19.4712]] R25.0；圆弧插补

N100　G01　X［35.0＊SIN［19.4712］］　Y［－35.0＊COS［19.4712］］；直线插补
N105　G02　X－35.0　Y0.0　R35.0；顺时针圆弧插补
N110　#11＝#11＋2.0；角步距均值递增
N115　IF　［#11LE90］　GOTO　60；如果#11 小于或等于 90°，则程序跳转到 N060 程序段
N120　G00　Z10.0；刀具快速抬起至工件表面 10mm 处
N125　X0.0　Y0.0；刀具快速移动至工件 XY 轴零点
N130　G01　Z－3.0　F1000；刀具以 1000mm/min 的工进速度下降至倒角深度处
N135　#21＝0；深度递增初始值赋给变量#21
N140　#22＝4.0；球刀半径值赋给变量#22
N145　#23＝0.1；深度逐次递增均值赋给变量#23
N150　#24＝TAN［45］；三角形两直角比的正切（斜率）值赋给变量#24
N155　#25＝3.0；倒角高度值赋给变量#25
N160　#103＝#22－#21＊#24；分层刀具半径补偿值
N165　G10　L12　P08　R［#103］；通过可编程参数指令 G10 将宏参数计算得到的#103单元中的数据传入半径补偿地址单元 D08 内
N170　G41　G01　X20.0　Y0.0　F500　D8；建立刀具半径左补偿，直线插补到分层切削圆的半径上
N175　G03　I－20.0　Y0.0；逆时针整圆插补
N180　#21＝#21＋#23；分层背吃刀量均值递增
N185　G01　Z［－3.0＋#21］；直线插补到分层背吃刀量
N190　IF　［#21LE#25］　GOTO　160；如果#21 小于或等于#25，则程序跳转到 N160 程序段
N195　G40　G00　X0.0　Y0.0　M09；取消刀具半径补偿，刀具退到工件零点，关闭切削液
N200　G49　Z100.0　M05；取消刀具长度补偿，刀具退回起始高度，主轴停止旋转
N205　M30；程序结束，返回程序起始段

（2）SINUMERIK 802D 数控系统

1）阶梯法粗铣 R50mm 圆柱曲面程序。

FZG3421；程序名
N010　M06　T4　D4；调用 4 号刀（ϕ12mm 粗齿直柄立铣刀）
N015　G17　G90　G94　G71　G49　G40　G54；参数设置，程序初始化
N020　G43　G00　Z150.0　S800　M03；调用刀具长度补偿，主轴正转，转速800r/min
N025　X－80.0　Y0.0；刀具快速移动到下刀点
N030　TRANS　X－69.5　Y0.0　Z0.；可编程零点偏移
N035　R1＝50.0；凹圆柱半径
N040　R2＝6.0；将平底立铣刀刀具半径赋给变量 R2
R3＝10.0；工件表面到曲面底面的高度

N045 R5 = 15.5；曲面厚度
N050 R6 = TRUNC［SQRT［R1 * R1 - R2 * R2］-［R1 - R3］］；将分层背吃刀量值取整赋给变量 R6
N055 G01 Z = - R6 F500 M07；刀具下降到凹圆柱曲面底部粗铣深度，打开切削液
N060 G01 X = R5 + 0.5 F100；直线插补，粗切凹圆柱曲面余量
N065 MARKE1：R2 = R2 + 2.0；凹圆柱底部背吃刀量均值递增 2mm
N070 R6 = TRUNC［SQRT［R1 * R1 - R2 * R2］-［R1 - R3］］；将分层背吃刀量值取整赋给变量 R6
N075 G01 Z = - R6 F500；刀具上升至下一个分层切削高度
N080 G01 Y = R2 F100；Y 正向直线插补，粗切凹圆柱曲面余量
N085 X = -0.5；X 负向直线插补，粗切凹圆柱曲面余量
N090 Y = - R2；Y 负向直线插补，粗切凹圆柱曲面余量
N095 X = R5 + 0.5；X 正向直线插补，粗切凹圆柱曲面余量
N100 Y0；Y 正向直线插补，粗切凹圆柱曲面余量
N105 IF R2 < = SQRT［R1 * R1 -［R1 - R3］*［R1 - R3］］ GOTOB MARKE1；如果刀具背吃刀量 R2 小于或等于凹圆柱曲面高度，则程序跳转到标记符 MARKE1 程序段
N110 TRANS；取消局部工件坐标系
N115 G00 Z150.0 M09；刀具快速抬起至工件表面上 150mm 处
N120 G00 X - 80.0 Y0.0 M05；刀具快速移动至工件左侧，关闭切削液
N125 M30；程序结束，返回程序开头

2）行切法精铣曲面程序。

FZG3422；程序名
N010 M06 T8 D8；调用 8 号刀（*R*4mm 球头铣刀）
N015 G17 G90 G94 G71 G49 G40 G54；参数设置，程序初始化
N020 G43 G00 Z150.0 S1800 M03；调用刀具长度补偿，主轴正转，转速 1800r/min
N025 X - 80.0 Y0.0；刀具快速移动到工件左侧
N030 TRANS X - 69.5 Y0.0 Z0.0 M07；可编程零点偏移，打开切削液
N035 R1 = 50.0；凹圆弧半径
R2 = 4.0；将球头铣刀刀具半径赋给变量 R2
R3 = 10.0；工件表面到曲面底面的高度
R4 = 15.5；曲面厚度
R5 = 37.0；圆弧圆心与工件表面起始角度 R5 = ACOS［（R1 - R3）/R1］
R6 = 0；X 向分层切削初始值
R7 = 0.1；X 向分层递进步距
R8 =［R1 - R3］-［R1 - R2］* COS［R5］；圆弧曲面顶点的 Z 向坐标值
R9 =［R1 - R2］* SIN［R5］；圆弧曲面顶点的 Y 向坐标值

N040　G19　G90　G01　X－1.0　Y＝R9　Z＝R8　F500；建立YOZ平面，刀具以500mm/min的工进速度移动到循环起点

N045　MARKE1：G01　X＝R6　F200；X向分层切削工进一个步距

N050　G02　Y＝－R9　Z＝R8　CR＝R1－R2　F200；直线插补至曲面右侧

N055　R6＝R6＋R7；步距均值递增

N060　IF　R6＞R4　GOTOF　MARKE2；如果R6大于R4，则程序跳转至标记符MARKE2程序段

N065　G01　X＝R6；X向分层切削再工进一个步距

N070　G90　G03　Y＝R9　Z＝R8　CR＝R1－R2　F200；直线插补至曲面右侧

N075　R6＝R6＋R7；步距均值递增

N080　IF　R6＜＝R4　GOTOB　MARKE1；如果R6小于或等于R4，则程序跳转到标记符MARKE1程序段

N085　MARKE2：TRANS；取消工件坐标系偏移

N090　G17　G49　G00　Z150.0　M09；建立XOY平面，取消刀具长度补偿，关闭切削液

N095　X－100.0　Y0　M05；刀具快速退到工件左侧，主轴停止

N100　M02；程序结束，返回程序开头

3）粗铣凸台外轮廓$R5$mm圆弧过渡面和$\phi40$mm孔口$C3$mm圆锥面。

FZG3423；程序名

N010　M06　T4　D4；调用4号刀（$\phi12$mm粗齿直柄立铣刀）

N015　G17　G90　G94　G71　G40　G49　G54；参数设置，程序初始化

N020　M03　S1500；主轴正转，转速1500r/min

N025　G00　G43　Z100.0；建立刀具长度补偿，并快速移到初始平面

N030　X－44.0　Y0.0；刀具快速移动至下刀点

N035　G01　Z－5.0　F1000；刀具以1000mm/min工进速度下降至圆弧深度

N040　R11＝0；将初始角步距赋给变量R11

N045　R12＝6.1；将铣刀的半径值赋给变量R12（留0.1mm精加工余量）

N050　R13＝5.0；将倒圆半径值赋给变量R13

N055　MARKE1：R100＝R13－R13＊COS［R11］；半径递减均值

N060　R101＝R12－R100；半径值

N065　R102＝－R13＋R13＊SIN［R11］；Z向深度值

N070　$TC_DP6［4，4］＝R101；用指令$TC_DP6将R101代表的对应半径值输入到4号刀具的CNC存储器D4中

N075　G41　G01　X－35.0　Y0　Z＝R102　F80　D4；建立刀具半径左补偿，直线插补到轮廓切入点

N080　G02　X［－35.0＊SIN［11.537］］　Y［35.0＊COS［11.537］］　CR＝35.0；顺时针圆弧插补

N085　G02　X［30.0＋25.0＊COS［44.4153］］　Y［25.0＊SIN［44.4153］］　CR＝65.0

；圆弧插补

N090 G02 X［30.0+25.0*SIN［19.4712］］ Y［-25.0*COS［19.4712］］ CR=25.0 ；圆弧插补

N095 G01 X［35.0*SIN［19.4712］］ Y［-35.0*COS［19.4712］］；直线插补

N100 G02 X-35.0 Y0.0 CR=35.0；顺时针圆弧插补

N105 R11=R11+5.0；角步距均值递增

N110 IF R11<=90 GOTOB MARKE1；如果 R11 小于或等于 90°，则程序跳转到标志符 MARKE1 程序段

N115 G00 Z10.0；刀具快速抬起至工件表面 10mm 处

N120 X0.0 Y0.0；刀具快速移动至工件 XY 轴零点

N125 G01 Z-3.0 F1000；刀具以 1000mm/min 的工进速度下降至倒角深度处

N130 R21=0；深度递增初始值赋给变量 R21

N135 R22=6.0；铣刀半径值赋给变量 R22

N140 R23=0.1；深度逐次递增均值赋给变量 R23

N145 R24=TAN［45］；三角形两直角比的正切（斜率）值赋给变量 R24

N150 R25=3.0；倒角高度值赋给变量 R25

N155 MARKE2：R103=R22-R21*R24；分层刀具半径补偿值

N160 $TC_ DP6［4，4］ =R103；用指令$TC_ DP6 将 R103 代表的对应半径值输入到 4 号刀具的 CNC 存储器 D4 中

N165 G41 G01 X20.0 Y0.0 F500；建立刀具半径左补偿，直线插补到分层切削圆的半径上

N170 G03 I-20.0 Y0.0；逆时针整圆插补

N175 R21=R21+R23；分层背吃刀量均值递增

N180 G01 Z［-3.0+R21］；直线插补到分层背吃刀量

N185 IF R21<=R25 GOTOB MARKE2；如果 R21 小于或等于 R25，则程序跳转到标志符 MARKE2 程序段

N190 G40 G00 X0.0 Y0.0 M09；取消刀具半径补偿，刀具退到工件零点，关闭切削液

N195 G49 Z100.0 M05；取消刀具长度补偿，刀具退回起始高度，主轴停止旋转

N200 M02；程序结束，返回程序起始段

4）精铣凸台外轮廓 $R5$mm 圆弧过渡面和 $\phi40$mm 孔口 $C3$mm 圆锥面。

FZG3424；程序名

N010 M06 T8 D8；调用 8 号刀（$R4$mm 球头铣刀）

N015 G17 G90 G94 G71 G40 G49 G54；参数设置，程序初始化

N020 M03 S2500；主轴正转，转速 2500r/min

N025 G00 G43 Z100.0；建立刀具长度补偿，并快速移到初始平面

N030 X-44.0 Y0.0；刀具快速移动至下刀点

N035 G01 Z-5.0 F1000；刀具以 1000mm/min 工进速度下降至圆弧深度

N040 R11=0；将初始角步距赋给变量 R11

N045　R12 =4.0；将球头铣刀的半径值赋给变量 R12
N050　R13 =5.0；将倒圆半径值赋给变量 R13
N055　MARKE1：R100 = ［R12 + R13］ – ［R12 + R13］ * COS［R11］；半径递减均值
N060　R101 = R12 – R100；半径值
N065　R102 = – R13 + ［R12 + R13］ * SIN［R11］；Z 向深度值
N070　$TC_ DP6［8，8］ =R101；用指令$TC_ DP6 将 R103 代表的对应半径值输入到 8 号刀具的 CNC 存储器 D8 中
N075　G41　G01　X – 35.0　Y0　Z = R102　F80；建立刀具半径左补偿，直线插补到轮廓切入点
N080　G02　X［ – 35.0 * SIN［11.537］］　Y［35.0 * COS［11.537］］　CR = 35.0；顺时针圆弧插补
N085　G02　X［30.0 +25.0 * COS［44.4153］］　Y［25.0 * SIN［44.4153］］　CR = R65.0；圆弧插补
N090　G02　X［30.0 +25.0 * SIN［19.4712］］　Y［ –25.0 * COS［19.4712］］　CR = R25.0；圆弧插补
N095　G01　X［35.0 * SIN［19.4712］］　Y［ – 35.0 * COS［19.4712］］；直线插补
N100　G02　X – 35.0　Y0.0　CR = 35.0；顺时针圆弧插补
N105　R11 = R11 +2.0；角步距均值递增
N110　IF　R11 < =90　GOTOB　MARKE1；如果 R11 小于或等于 90，则程序跳转到标志符 MARKE1 程序段
N115　G00　Z10.0；刀具快速抬起至工件表面 10mm 处
N120　X0.0　Y0.0；刀具快速移动至工件 XY 轴零点
N125　G01　Z – 3.0　F1000；刀具以 1000mm/min 的工进速度下降至倒角深度处
N130　R21 =0；深度递增初始值赋给变量 R21
N135　R22 =4.0；球刀半径值赋给变量 R22
N140　R23 =0.1；深度逐次递增均值赋给变量 R23
N145　R24 = TAN［60］；三角形两直角比的正切（斜率）值赋给变量 R24
N150　R25 =3.0；倒角高度值赋给变量 R25
N155　MARKE2：R103 = R22 + R21 * R24；分层刀具半径补偿值
N160　$TC_ DP6［8，8］ =R103；用指令$TC_ DP6 将 R103 代表的对应半径值输入到 8 号刀具的 CNC 存储器 D8 中
N165　G41　G01　X20.0　Y0.0　F500；建立刀具半径左补偿，直线插补到分层切削圆的半径上
N170　G03　I – 20.0　Y0.0；逆时针整圆插补
N175　R21 = R21 + R23；分层背吃刀量均值递增
N180　G01　Z［ – 3.0 + R21］；直线插补到分层背吃刀量
N185　IF　R21 < = R25　GOTOB　MARKE2；如果 R21 小于或等于 R25，则程序跳转到标志符 MARKE2 程序段

N190 G40 G00 X0.0 Y0.0 M09；取消刀具半径补偿，刀具退到工件零点，关闭切削液
N195 G49 Z100.0 M05；取消刀具长度补偿，刀具退回起始高度，主轴停止旋转
N200 M02；程序结束，返回程序起始段

（3）HNC—21/22M 华中世纪星数控系统

1）阶梯法粗铣 R50mm 圆柱曲面程序。

```
O3421；程序名
%3421；程序号
N010 M06 T04；调用4号刀（φ12mm粗齿直柄立铣刀）
N015 G17 G90 G94 G21 G80 G49 G40 G69 G54；参数设置，程序初始化
N020 G43 G00 Z150.0 H04 S800 M03；调用刀具长度补偿，主轴正转，转速800r/min
N025 X-80.0 Y0.0；刀具快速移动到下刀点
N030 #1=50.0；凹圆柱半径
N035 #2=6.0；将平底立铣刀刀具半径赋给变量#2
     #3=10.0；工件表面到曲面底面的高度
     #4=-69.5；凹圆柱曲面顶点X坐标值
N040 #5=15.5；曲面厚度
N045 #6=INT[SQRT[#1*#1-#2*#2]-[#1-#3]]；将分层背吃刀量值取整赋给变量#6
N050 G01 Z[-#6] F500；刀具下降到凹圆柱曲面底部粗铣深度
N055 G01 X[#4+#5+0.5] F100；直线插补，粗切凹圆柱曲面余量
N060 WHILE #2LE30.0；如果刀具背吃刀量#2大于凹圆柱曲面深度，则程序跳转到N110程序段
N065 #2=#2+2.0；凹圆柱底部切削宽度均值递增2mm
N070 #6=INT[SQRT[#1*#1-#2*#2]-[#1-#3]]；将分层背吃刀量值取整赋给变量#6
N075 G01 Z[-#6] F500；刀具上升至下一个分层切削高度
N080 G01 Y[#2] F100；Y正向直线插补，粗切凹圆柱曲面余量
N085 X[#4-0.5]；X负向直线插补，粗切凹圆柱曲面余量
N090 Y[-#2]；Y负向直线插补，粗切凹圆柱曲面余量
N095 X[#4+#5+0.5]；X正向直线插补，粗切凹圆柱曲面余量
N100 Y0；Y正向直线插补，粗切凹圆柱曲面余量
N105 ENDW；循环结束，执行下条语句
N110 G00 Z150.0 M09；刀具快速抬起至工件表面上150mm处
N115 X-80.0 Y0.0 M05；刀具快速移动至工件左侧，关闭切削液
N120 M30；程序结束，返回程序开头
```

2）行切法精铣曲面程序。

```
O3422；凹圆柱曲面精铣程序名
```

%3422；凹圆柱曲面精铣程序号

N010　M06　T08；调用 8 号刀（R4mm 球头铣刀）

N015　G17　G90　G94　G21　G80　G49　G40　G69　G54；参数设置，程序初始化

N020　G43　G00　Z150.0　H08　S1800　M03；调用刀具长度补偿，主轴正转，转速 1800r/min

N025　X－80.0　Y0.0；刀具快速移动到工件左侧

N030　#0＝－69.5；凹圆柱曲面的 X 坐标值

#1＝50.0；凹圆弧半径

#2＝4.0；将球头铣刀刀具半径赋给变量#2

#3＝10.0；工件表面到曲面底面的高度

#4＝15.5；曲面厚度

#5＝36.87；圆弧圆心与工件表面起始角度（#5＝ACOS［［#1－#3］/#1］）

#6＝0；X 向分层切削初始值

#7＝0.1；X 向分层递进步距值

#8＝［#1－#3］－［#1－#2］＊COS［#5＊PI/180］；圆弧曲面顶点的 Z 向坐标值

#9＝［#1－#2］＊SIN［#5＊PI/180］；圆弧曲面顶点的 Y 向坐标值

N035　G19　G90　G01　X－70.5　Y#9　Z#8　F500；建立 YOZ 平面，刀具以 500mm/min 的工进速度移动到循环起点

N040　WHILE　#6LE#4；如果#6 大于#4，则程序跳转到 N090 程序段

N045　G01　X［#6＋#0］　F200；X 向分层切削工进一个步距

N050　G02　Y［－#9］　Z［#8］　R［#1－#2］　F200；直线插补至曲面右侧

N055　#6＝#6＋#7；步距均值递增

N060　IF　#6GT#4；如果#6 大于#4，则程序跳转至 N080 程序段

N065　G01　X［#6＋#0］；X 向分层切削再工进一个步距

N070　G90　G03　Y［#9］　Z［#8］　R［#1－#2］　F200；直线插补至曲面右侧

N075　#6＝#6＋#7；步距均值递增

N080　ENDIF；返回循环起始程序段 N040

N085　ENDW；循环结束，执行下条程序段

N090　G17　G49　G00　Z150.0　M09；建立 XOY 平面，取消刀具长度补偿，关闭切削液

N095　X－100.0　Y0　M05；刀具快速退到工件左侧，主轴停止

N100　M30；程序结束，返回程序开头

3）粗铣凸台外轮廓 R5mm 圆弧过渡面和 ϕ40mm 孔口 C3mm 圆锥面。

O3423；程序名

N010　M06　T04；调用 4 号刀（ϕ12mm 粗齿直柄立铣刀）

N015　G17　G90　G94　G21　G40　G49　G80　G69　G54；系统参数初始化

N020　M03　S1500；主轴正转，转速 1500r/min

N025　G00　G43　H04　Z100.0；建立刀具长度补偿，并快速移到初始平面

```
N030  X-44.0  Y0.0；刀具快速移动至下刀点
N035  G01  Z-5.0  F1000；刀具以1000mm/min工进速度下降至圆弧深度
N040  #11=0；将初始角步距赋给变量#11
N045  #12=6.1；将铣刀的半径值赋给变量#12（留0.1mm精加工余量）
N050  #13=5.0；将倒圆半径值赋给变量#13
N055  #100=#13-#13*COS[#11*PI/180]；半径递减均值
N060  WHILE  #11LE90；如果#11大于90°，则程序跳转到N115程序段
N065  #101=#12-#100；半径值
N070  #102=-#13+#13*SIN[#11*PI/180]；Z向深度值
N075  G41  G01  X-35.0  Y0  Z[#102]  F80  D[#101]
                                  ；建立刀具半径左补偿，直线插补到轮廓切入点
N080  G02  X[-35.0*SIN[11.537*PI/180]]  Y[35.0*COS[11.537*PI/180]]
                                  R35.0；顺时针圆弧插补
N085  G02  X[30.0+25.0*COS[44.4153*PI/180]]  Y[25.0*SIN[44.4153*PI/
                                  180]]  R65.0；圆弧插补
N090  G02  X[30.0+25.0*SIN[19.4712*PI/180]]  Y[-25.0*COS[19.4712*PI/
                                  180]]  R25.0；圆弧插补
N095  G01  X[35.0*SIN[19.4712*PI/180]]  Y[-35.0*COS[19.4712*PI/
                                  180]]；直线插补
N100  G02  X-35.0  Y0.0  R35.0；顺时针圆弧插补
N105  #11=#11+5.0；角步距均值递增
N110  ENDW；循环结束，执行下一语句
N115  G00  Z10.0；刀具快速抬起至工件表面10mm处
N120  X0.0  Y0.0；刀具快速移动至工件XY轴零点
N125  G01  Z-3.0  F1000；刀具以1000mm/min的工进速度下降至倒角深度处
N130  #21=0；深度递增初始值赋给变量#21
N135  #22=6.0；铣刀半径值赋给变量#22
N140  #23=0.1；深度逐次递增均值赋给变量#23
N145  #24=1；三角形两直角比的正切（斜率）值赋给变量#24
N150  #25=3.0；倒角高度值赋给变量#25
N155  WHILE  #21LE#25；如果#21大于#25，则程序跳转到N190程序段
N160  #103=#22-#21*#24；分层刀具半径补偿值
N165  G41  G01  X20.0  Y0.0  F500  D[#103]；建立刀具半径左补偿，直线插补
                                  到分层切削圆的半径上
N170  G03  I-20.0  Y0.0；逆时针整圆插补
N175  #21=#21+#23；分层背吃刀量均值递增
N180  G01  Z[-3.0+#21]；直线插补到分层背吃刀量
N185  ENDW；循环结束，执行下一语句
N190  G40  G00  X0.0  Y0.0  M09；取消刀具半径补偿，刀具退到工件零点，关闭
```

切削液

N195　G49　Z100.0　M05；取消刀具长度补偿，刀具退回起始高度，主轴停止旋转

N200　M30；程序结束，返回程序起始段

4）精铣凸台外轮廓 *R*5mm 圆弧过渡面。

O3424；程序名

%3424；程序号

N010　M06　T08；调用 8 号刀（*R*4mm 球头铣刀）

N015　G17　G90　G94　G21　G40　G49　G80　G69　G25　G54；系统参数初始化

N020　M03　S2500；主轴正转，转速 2500r/min

N025　G00　G43　H08　Z100.0；建立刀具长度补偿，并快速移到初始平面

N030　X－44.0　Y0.0；刀具快速移动至下刀点

N035　G01　Z－5.0　F1000；刀具以 1000mm/min 工进速度下降至圆弧深度

N040　#11＝0；将初始角步距赋给变量#11

N045　#12＝4.0；将球头铣刀的半径值赋给变量#12

N050　#13＝5.0；将倒圆半径值赋给变量#13

N055　WHILE　#11LE90；如果#11 大于 90°，则程序跳转到 N115 程序段

N060　#100＝［#12＋#13］－［#12＋#13］*COS［#11*PI/180］；半径递减均值

N065　#101＝#12－#100；半径值

N070　#102＝－#13＋［#12＋#13］*SIN［#11*PI/180］；Z 向深度值

N075　G41　G01　X－35.0　Y0　Z［#102］　F80　D［#101］

；建立刀具半径左补偿，直线插补到轮廓切入点

N080　G02　X［－35.0*SIN［11.537*PI/180］］　Y［35.0*COS［11.537*PI/180］］

R35.0；顺时针圆弧插补

N085　G02　X［30.0＋25.0*COS［44.4153*PI/180］］　Y［25.0*SIN［44.4153*PI/

180］］　R65.0；圆弧插补

N090　G02　X［30.0＋25.0*SIN［19.4712*PI/180］］　Y［－25.0*COS［19.4712*PI/

180］］　R25.0；圆弧插补

N095　G01　X［35.0*SIN［19.4712*PI/180］］　Y［－35.0*COS［19.4712*PI/

180］］；直线插补

N100　G02　X－35.0　Y0.0　R35.0；顺时针圆弧插补

N105　#11＝#11＋2；角步距均值递增，返回循环起始程序段 N055

N110　ENDW；循环 1 结束，执行下条程序段

N115　G00　Z10.0；刀具快速抬起至工件表面 10mm 处

N120　X0.0　Y0.0；刀具快速移动至工件 XY 轴零点

N125　G01　Z－3.0　F1000；刀具以 1000mm/min 的工进速度下降至倒角深度处

N130　#21＝0；深度递增初始值赋给变量#21

N135　#22＝4.0；球刀半径值赋给变量#22

N140　#23＝0.1；深度逐次递增均值赋给变量#23

N145　#24＝1.0；三角形两直角比的正切（斜率）值赋给变量#24

N150　#25 = 3.0；倒角高度值赋给变量#25

N155　WHILE　#21LE#25；如果#21 大于#25，则程序跳转到 N190 程序段

N160　#103 = #22 + #21 * #24；分层刀具半径补偿值

N165　G41　G01　X20.0　Y0.0　F500　D [#103]；建立刀具半径左补偿，直线插补到分层切削圆的半径上

N170　G03　I - 20.0　Y0.0；逆时针整圆插补

N175　#21 = #21 + #23；分层背吃刀量均值递增

N180　G01　Z [- 3.0 + #21]；直线插补到分层背吃刀量，返回循环起始程序段 N155

N185　ENDW；循环 2 结束，执行下条程序段

N190　G40　G00　X0.0　Y0.0　M09；取消刀具半径补偿，刀具退到工件零点，关闭切削液

N195　G49　Z100.0　M05；取消刀具长度补偿，刀具退回起始高度，主轴停止旋转

N200　M30；程序结束，返回程序起始段

实例 3

图 3-116 所示零件，毛坯为 120mm × 100mm × 28mm 的 45 钢规则六面体，试分析其加工工艺并编写其数控铣/加工中心的加工程序。

图 3-116　零件示意图

a）零件图　b）效果图

1. 工艺分析

（1）确定工序及工步　该零件正面为正六边形凸台，上方为一 ϕ88mm 的圆台，圆台上有一 8mm×8mm 的阿基米德螺旋线凹槽，反面两侧各有一个 50mm×30mm×10mm、锥度为 10°的开口锥槽，左侧下方有一个 10mm×4mm（宽×深）十字凹槽，4×ϕ8.6mm、2×ϕ10mm、$\phi 20^{+0.033}_{0}$mm 的通孔，4×ϕ16mm×8.5mm 沉孔、ϕ30mm×10mm 沉孔。由于该零件各尺寸、形状和位置精度及表面粗糙度值要求都较高，因此，需分粗、精加工完成。

由于零件毛坯为规则的长方体零件，故选择通用夹具——平口钳作为零件加工的定位夹具。

考虑到零件正反面都需要加工，因此根据零件特性和数控加工工艺要求，先加工反面，先用钻削 ϕ2.5mm 中心孔的 A 型不带护锥的中心钻钻各通孔、定位孔及十字槽下刀孔，再用 ϕ8.6mm 麻花钻钻 4×ϕ8.6mm 通孔、用 ϕ9.8mm 麻花钻钻对 2×10H7mm 预钻孔、ϕ10mm 铰刀铰 2×10H7mm 通孔；换 ϕ8mm 立铣刀，粗铣两侧 40mm×25mm×10mm 的开口直槽，粗、精工件表面中心左下侧十字凹槽；换 R3mm 球头铣刀，半精铣和精铣两侧开口槽。

正面加工换装 ϕ16mm 立铣刀，粗、精铣正六边形凸台和 ϕ88mm 圆台，粗铣 $\phi 20^{+0.033}_{0}$mm 的通孔，单边留铰削余量 0.1mm，粗、精铣 $\phi 30^{+0.033}_{0}$mm 的沉孔；换 ϕ8mm 键槽铣刀，铣削阿基米德螺旋线凹槽；换 ϕ20H7 铰刀，铰削 $\phi 20^{+0.033}_{0}$mm 的通孔。

（2）编程与加工难点分析　该零件编程与加工难点在于反面两侧 50mm×30mm×10mm、锥度为 10°开口锥槽的编程与加工，正面 8mm×8mm 阿基米德螺旋线凹槽的编程与加工。开口锥槽和阿基米德螺旋线凹槽需采用宏程序（R 参数）进行编程，开口锥槽首先需得出锥槽底部的开口尺寸，其基点坐标和开口槽尺寸如图 3-117、图 3-118 所示。由于开口锥槽顶部和底部余量较多，因此在铣削时，先采用立铣刀分层粗铣成形，再用球头铣刀精加工。

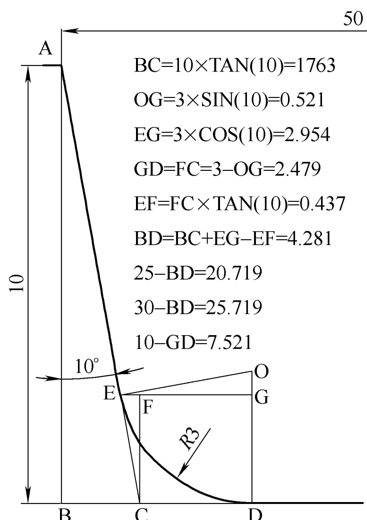


图 3-117　基点坐标

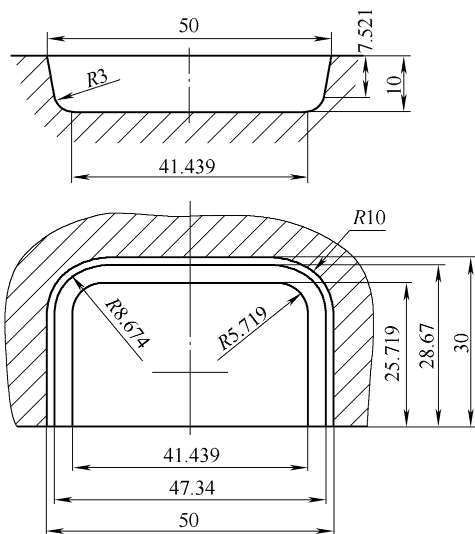


图 3-118　尺寸图

阿基米德螺旋线凹槽的宏程序（R 参数）编程，根据阿基米德螺旋线公式：

$$R_i = R_A + (\alpha_i - \alpha)T/360$$

$$X_i = (R_A + (\alpha_i - \alpha)T/360)COS\alpha_i$$

$$Y_i = (R_A + (\alpha_i - \alpha)T/360)SIN\alpha_i$$

采用圆弧逼近法进行加工，用螺旋角作为自变量，以 2°作为一个角步距，采用不对称顺铣削方式铣削阿基米德螺旋槽。

由图 3-116 可知，阿基米德螺旋线螺距 T 为 18mm，螺旋线的起始角度为 246°，最终转动角度为645°，即 $246° \leqslant \alpha_i \leqslant 645°$。当螺旋线由起始点转过24°，转到 Y 轴上（270° −246° =24°），此时，螺旋线在 i 点的半径为 19mm，则由 $R_i = R_A + (\alpha_i - \alpha)T/360$ 算出螺旋线在起始点的半径 R_A：

$$R_A = R_i - \alpha T/360 = 19 - 24 \times 18/360 = 17.8$$

再由上述阿基米德螺旋线坐标公式，求出阿基米德螺旋线的起始点坐标值（X_A、Y_A）：

$$X_A = 17.8 \times SIN246° \approx -7.234$$

$$Y_A = 17.8 \times COS246° \approx -16.2611$$

阿基米德螺旋线上任意一点（X_i，Y_i）的坐标为

$$X_i = (17.8 + (\alpha_i - 246)18/360)COS\alpha_i$$

$$Y_i = (17.8 + (\alpha_i - 246)18/360)SIN\alpha_i$$

2. 宏程序流程结构框图（略）

3. 宏程序编制

（1）FANUC 0i 数控系统

1）50mm ×30mm ×10mm 开口锥槽主程序。

O××××；开口锥槽程序名

N010 M06 T03；调用 3 号刀（ϕ8mm 立铣刀）

N015 G17 G90 G21 G94 G54 G40 G49 G80；程序运行初始状态设置

N020 G43 G00 Z50.0 H03 S1000 M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为1000r/min

N025 X70.0 Y0；刀具快速移到工件右侧中心

N030 G65 P3431；调用开口锥槽粗加工子程序铣削右侧开口锥槽

N035 G51.1 X0.0；Y 轴镜像

N040 G65 P3431；调用开口锥槽粗加工子程序铣削左侧开口锥槽

N045 G50.1 X0；取消 Y 轴镜像

N050 G91 G28 Z0.0；刀具 Z 向回参考点

N055 M06 T04；调用 4 号刀（*R*3mm 球头铣刀）

N060 G43 G00 Z50.0 H04 S1800 M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为1800r/min

N065 X70.0 Y0.0；刀具快速移到工件右侧中心

N070 G65 P3432；调用开口锥槽精加工子程序铣削右侧开口锥槽

N075 G51.1 X0.0；Y 轴镜像

N080　G65　P3432；调用开口锥槽精加工子程序铣削左侧开口锥槽
N085　G50.1　X0.0；取消Y轴镜像
N090　G91　G28　Z0.0；刀具Z向回参考点
N095　G90　G00　Y100.0　M05；刀具快速退到工件后面，关闭切削液
N100　M30；主程序结束，返回程序起始段

①开口锥槽粗加工子程序（ϕ8mm立铣刀铣削）。

O3431；宏子程序名
N010　#1 = 0.7521；深度逐次递减均值
　　　#10 = 1；深度下降次数初始值
N015　#11 = #1 * #10；下降深度的绝对值
N020　G01　Z - #11；刀具逐次下降一个深度均值
N025　#12 = #11 * TAN（10）；开口槽单边逐次递减均值
N030　G41　G00　X70.0　Y［25.0 - #12］　D03；建立左刀补，刀具快速走到开口槽上侧壁延长线处
N035　G01　X40.0　M08；直线插补铣削开口槽上侧壁
N040　G03　X［30.0 + #12］　Y15.0　R［10.0 - #12］；拐角倒圆
N045　G01　Y - 15.0；直线插补铣削开口槽左侧壁
N050　G03　X40.0　Y［ - 25.0 + #12］　R［10.0 - #12］；拐角倒圆
N055　G01　X70.0；直线插补铣削开口槽下侧壁
N060　G40　G00　Y0.0；取消左刀补，刀具快速退到起始点
N065　#10 = #10 + 1；铣削次数逐次增加一次
N070　IF　［#10LT10.0］　GOTO　15；如果铣削次数不满10次，则程序跳转到N015程序段
N075　#3 = 15.0；*R*3mm槽底球面赋角度初始值
N080　#13 = 3.0 * COS［#3］；*R*3mm槽底球面当前切点离刀心的横向距离
　　　#14 = 3.0 - 3.0 * SIN［#3］；*R*3mm槽底球面当前切点离槽底的垂向距离
N085　G01　Z - ［7.0 + #14］　F1000；深度分层逐次下降一个均值
N090　G41　G00　X70.0　Y［25.0 - #13］　D03；建立左刀补，刀具快速走到开口槽上侧壁*R*3mm球面延长线处
N095　G01　X40.0；直线插补铣削开口槽上侧与底部的*R*3mm球面壁
N100　G03　X［30.0 - #13］　Y15.0　R［10.0 - ［4.281 - #13］］；拐角倒圆
N105　G01　Y - 15.0；直线插补铣削开口槽左侧与底部的*R*3mm球面壁
N115　G03　X40.0　Y［25.0 - #13］　R［10.0 - ［4.281 - #13］］；拐角倒圆
N120　G01　X70.0；直线插补铣削开口槽下侧与底部的*R*3mm球壁面
N125　G40　G00　Y0.0；取消左刀补，刀具快速退到起始点
N130　#3 = #3 + 5.0；角度变量均值递增
N135　IF　［#3LE90］　GOTO　80；如果角度小于或等于90°，则程序跳转到N080程序段
N140　G00　Z50.0　M09；刀具快速上升，切削液关闭

```
N145  M99；子程序结束并返回主程序
```

②开口锥槽精加工子程序（R3mm 球头刀铣削）。

```
O3432；宏子程序名
N10  #10 =3.0 * SIN [10]；球头铣刀球心起刀点高度
     #11 =3.0 * COS [10]；球头铣刀球心起刀点与槽壁距离
     #12 =0.1；深度下降初始值
N15  #13 =#12 * TAN [10]；开口槽各切削层平面上 X、Y 方向逐次递减值
N20  #14 =#10 -#12；下降深度的绝对值
N25  G01  Z#14；刀具逐次下降一个深度均值
N30  G00  X70.0  Y [25.0 -#11 -#13]；刀具快速接近开口槽上侧
N35  G01  X40.0  F1200  M08；直线插补开口槽上侧面
N40  G03  X [30.0 +#11 +#13]  Y15.0  R [10.0 -#11 -#13]；拐角倒圆
N45  G01  Y -15.0；直线插补开口槽左侧面
N50  G03  X40.0  Y [ -25.0 +#11 +#13]  R [10.0 -#11 -#13]；拐角倒圆
N55  G01  X70.0；直线插补开口槽下侧面
N60  G00  Y0.0；刀具快速回退到起刀点
N65  #12 =#12 +0.1；深度逐次递加均值
N70  IF  [#12LT7.521]  GOTO  15；如果球刀心还没到槽底，则程序跳转到 N15
                                  程序段
N75  G00  Z50.0  M09；刀具快速上抬
N80  M99；子程序结束并返回主程序
```

2）阿基米德螺旋线凹槽主程序。

```
O××××；阿基米德螺旋线凹槽程序名
N10  M06  T03；调用 3 号刀（φ8mm 立铣刀）
N15  G17  G90  G21  G94  G54  G40  G49  G80；程序运行初始状态设置
N20  G43  G00  Z50.0  H03  S1000  M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为
                                        1000r/min
N25  #1 =246.0；螺旋线起始转动角度
     #2 =645.0；螺旋线终点角度
     #3 =2.0；  角步距
N30  G00  X -7.234  Y -16.262；刀具移动到螺旋线起始点上方
N35  Z5.0；刀具快速下降到工件上方 5mm 处
N40  G01  Z -10.0  F50.0；刀具以工进速度深度切削
N45  WHILE  [#1LT#2]  DO1；如果#1 大于或等于#2，则程序跳转到 N70 程序段
N50  #1 =#1 +#3；角步距均值递增
N55  #10 =17.8 +#1 * 18/360；螺旋线在当前点的半径 RA +(αi -α)T/360
     #11 =#10 * COS [#1]；螺旋线在当前点的 X 坐标(RA +(αi -α)T/360)COSαi
     #12 =#10 * SIN [#1]；螺旋线在当前点的 Y 坐标(RA +(αi -α)T/360)SINαi
N60  G03  X#11  Y#12  R#10  F120；圆弧插补法逼近螺旋线
```

N65　END1；循环结束，执行下条语句
N70　G00　Z100.0　M09；刀具退到工件上表面100mm处，切削液关闭
N75　G49；取消刀具长度补偿
N80　X0　Y100.0　M05；刀具退回工件坐标零点，主轴停止
N85　M30；程序结束并返回程序开头

（2）SINUMERIK 802D数控系统

1）50mm×30mm×10mm开口锥槽主程序。

FZG×××.MPF；开口锥槽程序名
N010　M06　T3　D1；调用3号刀（ϕ8mm立铣刀）
N015　G17　G90　G71　G94　G54　G40　G49；程序运行初始状态设置
N020　G43　G00　Z50.0　S1000　M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为1000r/min
N025　X70.0　Y0.0；刀具快速移到工件右侧中心
N030　L3431；调用开口锥槽粗加工子程序铣削右侧开口锥槽
N035　MIRROR　X0.0；Y轴镜像
N040　L3431；调用开口锥槽粗加工子程序铣削左侧开口锥槽
N045　MIRROR；取消Y轴镜像
N050　G91　G74　Z1=0；刀具Z向回参考点
N055　M06　T4　D1；调用4号刀（R3mm球头铣刀）
N060　G90　G43　G00　Z50.0　S1800　M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为1800r/min
N065　X70.0　Y0.0；刀具快速移到工件右侧中心
N070　L3432；调用开口锥槽精加工子程序铣削右侧开口锥槽
N075　MIRROR　X0.0；Y轴镜像
N080　L3432；调用开口锥槽精加工子程序铣削左侧开口锥槽
N085　MIRROR；取消Y轴镜像
N090　G91　G74　Z1=0；刀具Z向回参考点
N095　G90　G00　Y100.0　M05；刀具快速退到工件后面，关闭切削液
N100　M02；主程序结束，返回程序起始段

①开口锥槽粗加工子程序（ϕ8mm立铣刀铣削）。

L3431.SPF；宏子程序名
N010　R1=0.7521；深度逐次递减均值
　　　R10=1；深度下降次数初始值
N015　MARKE1：R11=R1*R10；下降深度的绝对值
N020　G01　Z-R11；刀具逐次下降一个深度均值
N025　R12=R11*TAN［10］；开口槽单边逐次递减均值
N030　G41　G00　X70.0　Y=25-R12；建立左刀补，刀具快速走到开口槽上侧壁延长线处
N035　G01　X40.0　M07；直线插补铣削开口槽上侧壁，打开切削液

```
N040  G03  X=30.0+R12  Y15.0  CR=10.0-R12；拐角逆圆弧插补
N045  G01  Y-15.0；直线插补铣削开口槽左侧壁
N050  G03  X40.0  Y=-25.0+R12  CR=10.0-R12；拐角逆圆弧插补
N055  G01  X70.0；直线插补铣削开口槽下侧壁
N060  G40  G00  Y0.0；取消左刀补，刀具快速退到起始点
N065  R10=R10+1.0；铣削次数逐次增加一次
N070  IF  R10<10.0  GOTOB  MARKE1；如果铣削次数不满10次，则程序跳转到
                                        标志符MARKE1程序段
N075  R3=15.0；R3mm槽底球面赋角度初始值
N080  MARKE2：R13=3*COS[R3]；R3mm槽底球面当前切点离刀心的横向距离
      R14=3-3*SIN[R3]；R3mm槽底球面当前切点离槽底的垂向距离
N085  G01  Z=-[7.0+R14]  F1000；深度分层逐次下降一个均值
N090  G41  G00  X70.0  Y=25-R13；建立左刀补，刀具快速走到开口槽上侧壁
                                        R3mm球面延长线处
N095  G01  X40.0；直线插补铣削开口槽上侧与底部的R3mm球面壁
N100  G03  X=30.0-R13  Y15.0  CR=10-[4.281-R13]；拐角逆圆弧插补
N105  G01  Y-15.0；直线插补铣削开口槽左侧与底部的R3mm球面壁
N115  G03  X40.0  Y=25.0-R13  CR=10-[4.281-R13]；拐角逆圆弧插补
N120  G01  X70.0；直线插补铣削开口槽下侧与底部的R3mm球壁面
N125  G40  G00  Y0.0；取消左刀补，刀具快速退到起始点
N130  R3=R3+5.0；角度变量均值递增
N135  IF  R3<=90  GOTOB  MARKE2；如果角度小于或等于90°，则程序跳转到
                                        N080程序段
N140  G00  Z50.0  M09；刀具快速上升，切削液关闭
N145  RET；子程序结束并返回主程序
```

②开口锥槽精加工子程序（R3mm球头刀铣削）。

```
L3432.SPF；宏子程序名
N10  R10=3*SIN[10]；球头铣刀球心起刀点高度
     R11=3*COS[10]；球头铣刀球心起刀点与槽壁距离
     R12=0.1；深度下降初始值
N15  MARKE1：R13=R12*TAN[10]；开口槽各切削层平面上X、Y方向上逐次递
                                        减值
N20  R14=R10-R12；下降深度的绝对值
N25  G01  Z=R14；刀具逐次下降一个深度均值
N30  G00  X70.0  Y=25-R11-R13；刀具快速接近开口槽上侧
N35  G01  X40.0  F1200  M07；直线插补开口槽上侧面，打开切削液
N40  G03  X=30.0+R11+R13  Y15.0  CR=10-R11-R13；拐角逆圆弧插补
N45  G01  Y-15.0；直线插补开口槽左侧面
N50  G03  X40.0  Y=-25+R11+R13  CR=10-R11-R13；拐角逆圆弧插补
```

N55　G01　X70.0；直线插补开口槽下侧面
N60　G00　Y0.0；刀具快速回退到起刀点
N65　R12 = R12 + 0.1；深度逐次递加均值
N70　IF　R12 < 7.521　GOTOB　MARKE1；如果球刀心还没到槽底，则程序跳转到标志符 MARKE1 程序段
N75　G00　Z50.0　M09；刀具快速上抬
N80　RET；子程序结束并返回主程序

2）阿基米德螺旋线凹槽主程序。

FZG　×××.MPF；阿基米德螺旋线凹槽程序名
N10　M06　T3　D1；调用3号刀（ϕ8mm立铣刀）
N15　G17　G90　G71　G94　G54　G40　G49；程序运行初始状态设置
N20　G43　G00　Z50.0　S1000　M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为1000r/min
N25　R1 = 246.0；螺旋线起始转动角度
　　R2 = 645.0；螺旋线终点角度
　　R3 = 2.0；角步距
N30　G00　X -7.234　Y -16.262；刀具移动到螺旋线起始点上方
N35　Z5.0；刀具快速下降到工件上方5mm处
N40　G01　Z -10.0　F50.0；刀具以工进速度深度切削
N45　MARKE2：R1 = R1 + R3；角步距均值递增
N50　R10 = 17.8 + R1 * 18/360；螺旋线在当前点的半径 $R_A + (\alpha_i - \alpha)T/360$
　　R11 = R10 * COS [R1]；螺旋线在当前点的 X 坐标 $(R_A + (\alpha_i - \alpha)T/360)COS\alpha_i$
　　R12 = R10 * SIN [R1]；螺旋线在当前点的 Y 坐标 $(R_A + (\alpha_i - \alpha)T/360)SIN\alpha_i$
N55　G03　X = R11　Y = R12　CR = R10　F120；圆弧插补法逼近螺旋线
N60　IF　R1 < R2　GOTOF　MARKE2；如果 R1 小于 R2，则程序跳转到标志符 MARKE2 程序段
N65　G00　Z100.0　M09；刀具退到工件上表面100mm处，切削液关闭
N70　G49；取消刀具长度补偿
N75　X0　Y100.0　M05；刀具退回工件坐标零点，主轴停止
N80　M02；程序结束并返回程序开头

（3）HNC—21/22M 华中世纪星数控系统

1）50mm×30mm×10mm 开口锥槽主程序。

O××××；开口锥槽程序名
%3430；程序号
N10　M06　T03；调用3号刀（ϕ8mm立铣刀）
N15　G17　G90　G21　G94　G54　G40　G49　G80；程序运行初始状态设置
N20　G43　G00　Z50.0　H03　S1000　M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为1000r/min
N25　X70.0　Y0.0；刀具快速移到工件右侧中心

N30 M98 P3431；调用开口锥槽粗加工子程序铣削右侧开口锥槽
N35 G24 X0.0；Y 轴镜像
N40 M98 P3431；调用开口锥槽粗加工子程序铣削左侧开口锥槽
N45 G25 X0.0；取消 Y 轴镜像
N50 G91 G28 Z0.0；刀具 Z 向回参考点
N55 M06 T04；调用 4 号刀（R3mm 球头铣刀）
N60 G90 G43 G00 Z50.0 H04 S1800 M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为 1800r/min
N65 X70.0 Y0.0；刀具快速移到工件右侧中心
N70 M98 P3432；调用开口锥槽精加工子程序铣削右侧开口锥槽
N75 G24 X0.0；Y 轴镜像
N80 M98 P3432；调用开口锥槽精加工子程序铣削左侧开口锥槽
N85 G25 X0.0；取消 Y 轴镜像
N90 G91 G28 Z0.0；刀具 Z 向回参考点
N95 G90 G00 Y100.0 M05；刀具快速退到工件后面，关闭切削液
N100 M30；主程序结束，返回程序起始段

①开口锥槽粗加工子程序（ϕ8mm 立铣刀铣削）。

%3431；宏子程序名
N010 #1 =0.7521；深度逐次递减均值
#10 =1.0；深度下降次数初始值
N015 WHILE #10LT10.0；如果#10（深度下降次数）大于或等于 10，则程序跳转到 N080 程序段
N020 #11 =#1 * #10；下降深度的绝对值
N025 G01 Z -#11；刀具逐次下降一个深度均值
N030 #12 =#11 * TAN [10 * PI/180]；开口槽单边逐次递减均值
N035 G41 G00 X70.0 Y [25 -#12] D03；建立左刀补，刀具快速走到开口槽上侧壁延长线处
N040 G01 X40.0 M07；直线插补铣削开口槽上侧壁
N045 G03 X [30.0 +#12] Y15.0 R [10.0 -#12]；拐角逆圆弧插补
N050 G01 Y -15.0；直线插补铣削开口槽左侧壁
N055 G03 X40.0 Y [-25.0 +#12] R [10.0 -#12]；拐角逆圆弧插补
N060 G01 X70.0；直线插补铣削开口槽下侧壁
N065 G40 G00 Y0.0；取消左刀补，刀具快速退到起始点
N070 #10 =#10 +1.0；铣削次数逐次增加一次，返回循环起始段 N015
N075 ENDW；循环结束，执行下条语句
N080 #3 =15.0；R3mm 槽底球面赋角度初始值
N085 WHILE #3LE90；如果角度大于 90°，则程序跳转到 N140 程序段
N088 #13 =3 * COS [#3 * PI/180]；R3mm 槽底球面当前切点离刀心的横向距离
#14 =3 -3 * SIN [#3 * PI/180]；R3mm 槽底球面当前切点离槽底的垂向距离

N090　G01　Z－［7.0＋#14］　F1000；深度分层逐次下降一个均值
N095　G41　G00　X70.0　Y［25－#13］；建立左刀补，刀具快速走到开口槽上侧壁 $R3$mm 球面延长线处
N100　G01　X40.0；直线插补铣削开口槽上侧与底部的 $R3$mm 球面壁
N105　G03　X［30.0－#13］　Y15.0　R［10－［4.281－#13］］；拐角逆圆弧插补
N110　G01　Y－15.0；直线插补铣削开口槽左侧与底部的 $R3$mm 球面壁
N115　G03　X40.0　Y［25.0－#13］　R［10－［4.281－#13］］；拐角逆圆弧插补
N120　G01　X70.0；直线插补铣削开口槽下侧与底部的 $R3$mm 球壁面
N125　G40　G00　Y0.0；取消左刀补，刀具快速退到起始点
N130　#3＝#3＋5.0；角度变量均值递增，返回循环起始段 N085
N135　ENDW；循环结束，执行下条语句
N140　G00　Z50.0　M09；刀具快速上升，切削液关闭
N145　M99；子程序结束并返回主程序

②开口锥槽精加工子程序（$R3$mm 球头刀铣削）。

%3432；宏子程序名
N10　#10＝3＊SIN［10＊PI/180］；球头铣刀球心起刀点高度
　　#11＝3＊COS［10＊PI/180］；球头铣刀球心起刀点与槽壁距离
　　#12＝0.1；深度下降初始值
N15　WHILE　#12LT7.521；如果球刀心的背吃刀量（#12）大于或等于 7.521，则程序跳转到 N75 程序段
N20　#13＝#12＊TAN［10＊PI/180］；开口槽各切削层平面上 X、Y 方向逐次递减值
　　#14＝#10－#12；下降深度的绝对值
N25　G01　Z［#14］；刀具逐次下降一个深度均值
N30　G00　X70.0　Y［25.0－#11－#13］；刀具快速接近开口槽上侧
N35　G01　X40.0　F1200　M07；直线插补开口槽上侧面
N40　G03　X［30.0＋#11＋#13］　Y15.0　R［10.0－#11－#13］；拐角逆圆弧插补
N45　G01　Y－15.0；直线插补开口槽左侧面
N50　G03　X40.0　Y［－25＋#11＋#13］　R［10.0－#11－#13］；拐角逆圆弧插补
N55　G01　X70.0；直线插补开口槽下侧面
N60　G00　Y0.0；刀具快速回退到起刀点
N65　#12＝#12＋0.1；深度逐次递加均值，返回循环起始段 N15
N70　ENDW；循环结束，执行下条语句
N75　G00　Z50.0　M09；刀具快速上抬
N80　M99；子程序结束并返回主程序

2）阿基米德螺旋线凹槽主程序。

O××××；阿基米德螺旋线凹槽程序名
%3433；程序号
N10　M06　T03；调用 3 号刀（$\phi8$mm 立铣刀）
N15　G17　G90　G21　G94　G54　G40　G49　G80；程度运行初始状态设置

N20 G43 G00 Z50.0 H03 S1000 M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为1000r/min
N25 #1 =246.0；螺旋线起始转动角度
#2 =645.0；螺旋线终点角度
#3 =2.0；角步距
N30 G00 X -7.234 Y -16.262；刀具移动到螺旋线起始点上方
N35 Z5.0；刀具快速下降到工件上方5mm处
N40 G01 Z -10.0 F50.0；刀具以工进速度深度切削
N45 WHILE #1LT#2；如果#1 大于或等于#2，则程序跳转到N70 程序段
N50 #1 =#1 +#3；角步距递增一个均值
N55 #10 =17.8 +#1 * 18/360；螺旋线在当前点的半径 $R_A+(\alpha_i-\alpha)T/360$
#11 =#10 * COS [#1 * PI/180]；螺旋线在当前点的X坐标 $(R_A+(\alpha_i-\alpha)T/360)COS\alpha_i$
#12 =#10 * SIN [#1 * PI/180]；螺旋线在当前点的Y坐标 $(R_A+(\alpha_i-\alpha)T/360)SIN\alpha_i$
N60 G03 X [#11] Y [#12] R [#10] F120；圆弧插补法逼近螺旋线
N65 ENDW；循环结束，执行下条语句
N70 G00 Z100.0 M09；刀具退到工件上表面100mm处，切削液关闭
N75 G49；取消刀具长度补偿
N80 X0.0 Y100.0 M05；刀具退回工件坐标零点，主轴停止
N85 M30；程序结束并返回程序开头

第 4 章　典型曲面零件宏程序编程实例分析与加工

4.1　烟灰缸的宏程序编程与加工

1. 烟灰缸的零件示意图

烟灰缸的零件示意图如图 4-1 所示。

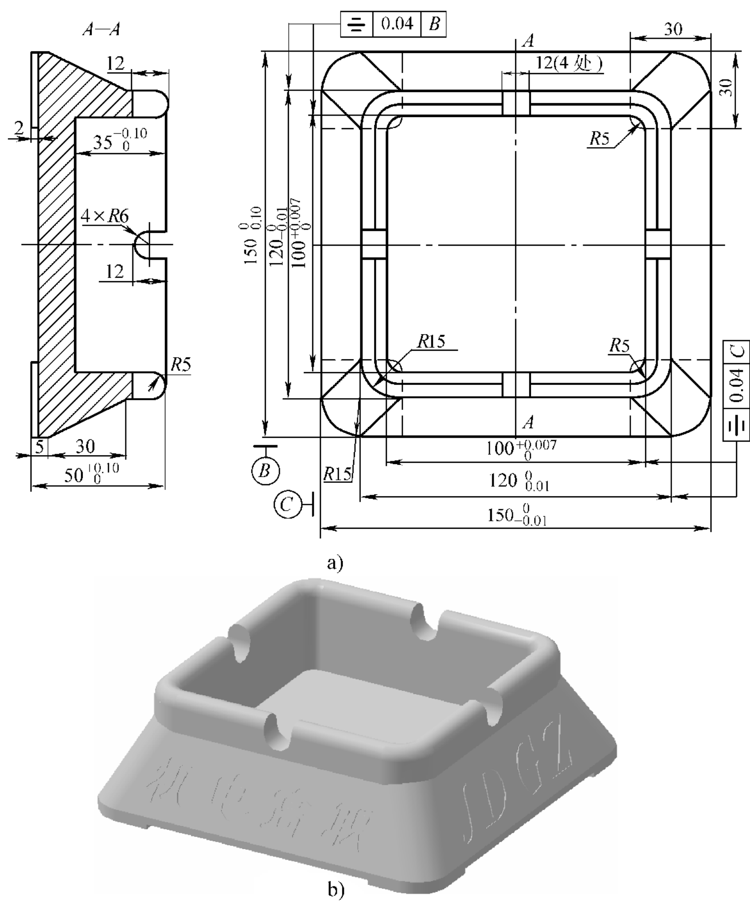


图 4-1　烟灰缸零件示意图

a）零件图　b）效果图

2. 工艺分析

烟灰缸的主要结构是由多个曲面组成的四棱锥台和内外面球面过渡；四棱锥台四周的斜平面之间采用半径为15mm的等圆弧过渡，上平面与内外垂直平面之间采用半径为5mm的圆弧过渡，上平面与内外四边形圆角采用从外向内的变半径（半径为15～5mm）圆弧过渡，内型腔为100mm×100mm×35mm的凹槽，四角圆弧半径为5mm，在烟灰缸的顶面上四条边的中心各有一个12mm×12mm、底部为*R*6mm的通槽，底部为4×30mm×30mm×2mm的凸台。

（1）数控加工工艺　首先在普通铣床上将毛坯铣削成151mm×151mm×60mm的正六面体，而后在数控铣或加工中心上分工步进行下列加工：底部150mm×150mm×16mm、四周圆角为*R*15mm的矩形轮廓加工，30mm×30mm×2mm的四个小凸台加工；反转零件安装，预钻ϕ20mm×35mm不通孔，粗加工整个内型腔；粗加工上半部120mm×120mm×15mm、四周圆角为*R*15mm的矩形外轮廓，去除大部分加工余量；粗加工下半部的四棱锥台；精加工上半部矩形轮廓；精加工四棱锥台；精加工内型腔底面和型腔侧面；粗、精加工上表面与内外垂直面的过渡圆弧曲面；粗、精加工四条12mm×12mm、底部为*R*6mm的通槽。反转零件铣去工艺凸台，保证50mm的高度尺寸。

（2）工件的定位与夹紧　工件通过安装在机床工作台面上的平口钳固定在平口钳上。零件中心为工件坐标系X、Y的原点，上表面为工件坐标系Z的零点。

（3）刀具选择　根据工件的加工工艺，外轮廓和型腔粗加工均选用ϕ20mm波刃立铣刀；凹槽精加工采用ϕ10mm平底立铣刀；四棱锥台和上半部四方轮廓表面的精加工采用直径为ϕ20mm平底立铣刀；顶面与内外垂直平面的过渡圆弧曲面采用ϕ8（*R*4）mm球头铣刀；顶面四边中心的凹槽，先用ϕ10mm平底立铣刀粗加工去除余量，再采用ϕ8mm球头铣刀精加工。

数控加工工序卡见表4-1。

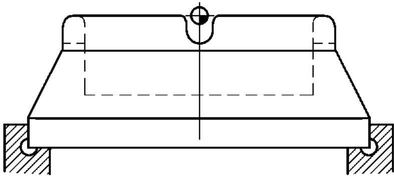
表4-1　烟灰缸的数控加工工序卡

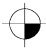
数控加工工序卡片	零件名称	零件图号	程序号	编制	材料	共2页
	锥台-球面体	HNCM0001	O41…	冯志刚	铝	第2页

夹紧草图：

加工方式

采用不对称顺铣方式





工件零点：P0

刀具起刀点：

X：150

Y：150

Z：100

工步号	工　步　内　容	刀　　具			辅具	切削用量			量检具
		T码	种类规格	刀长		S/(r/min)	F/(mm/min)	t/mm	
1	150mm×150mm×16mm矩形轮廓	T01	ϕ20mm高速钢粗齿立铣刀			560	150	16	千分尺，深度尺
2	4×30mm×30mm×2mm凸台铣削						150	2	

（续）

工步号	工　步　内　容	刀　具			辅具	切削用量			量检具
		T码	种类规格	刀长		S/(r/min)	F/(mm/min)	t/mm	
3	预钻 ϕ3mm 中心孔	T02	中心钻 ϕ5mm			1500	40	6	
4	钻 ϕ20mm×35mm 不通孔	T03	ϕ20mm 麻花钻			300	60	10	深度尺
5	粗铣矩形凹槽	T01	ϕ20mm 高速钢粗齿立铣刀			580	150	10	游标卡尺
6	粗铣上部矩形外轮廓						150	15	
7	粗铣四棱台斜面					1000	350	0.5	
8	精铣上部矩形外轮廓	T04	ϕ20mm 高速钢四齿立铣刀			650	100	15	内、外径千分尺，深度卡尺
9	精铣四棱台斜面					1000	300	0.1	
10	精铣矩形凹槽	T05	ϕ8mm 立铣刀（长）			960	80	35	
11	粗铣顶部圆弧曲面	T06	R4mm 球头铣刀			1000	350	0.5	半径样板
12	精铣顶部圆弧曲面					1200	100	0.2	半径样板
13	粗铣 4×12mm×12mm 通槽	T07	ϕ8mm 立铣刀			800	80	6	游标卡尺，半径样板
14	精铣 4×12mm×12mm 通槽	T08	R5mm 球头铣刀			850	85	0.2	
15	铣去反面工艺凸台	T09	ϕ80mm 面铣刀			800	200	2	深度尺

3. 程序流程结构框图（略）

4. 程序编制（HNC—21/22M 华中世纪星数控系统）

（1）150mm×150mm×16mm 矩形轮廓加工

O411；矩形轮廓加工程序文件名

%411；宏程序号

N10　T01　M06；调用1号刀具（ϕ20mm 粗齿立铣刀）

N15　G17　G90　G21　G94　G54；程序初始工艺状态设置

N20　G43　G00　G01　H01　Z50　F800　M07；建立刀具长度补偿，打开切削液

N22　G00　X100　Y0　M03　S560；移动刀具到工件右侧，主轴正转，转速为560r/min

N25　G01　Z-16　F1000；刀具快速下降到最终加工深度

N30　G42　X95　Y-20　F560　D01；建立刀具右补偿，直线插补到切入圆起点

N35　G02　X75　Y0　R20　F150；以1/4R20mm 的圆弧切线切入

N40　G01　Y75　R15；Y 向直线插补

N45　X-75　R15；-X 向直线插补

N50　Y-75　R15；-Y 向直线插补

N55　X75　R15；X 向直线插补

N60 Y0；Y 向直线插补，返回圆弧切入点
N65 G02 X95 Y20 R20；以 1/4*R*20mm 的圆弧切线切出
N70 G40 G01 X100 Y0 M09；刀具快速移动到工件右侧，关闭切削液
N75 G00 Z100 M05；刀具快速抬起离开工件，主轴停止旋转
N80 G49；取消刀具长度补偿
N85 M30；程序结束，返回程序开头

（2）4×30mm×30mm×2mm 矩形凸台加工

O411；矩形凸台加工程序文件名
%411；宏程序号
N010 T01 M06；调用 1 号刀具（ϕ20mm 粗齿立铣刀）
N015 G17 G90 G21 G94 G54；程序初始工艺状态设置
N020 G43 G00 G01 H01 Z50 F800 M07；建立刀具长度补偿，打开切削液
N022 G00 X100 Y0 M03 S560；移动刀具到工件右侧，主轴正转，转速为 560r/min
N025 G01 Z－2 F1000；刀具快速下降到最终加工深度
N030 M98 P11；调用去凸台周围余量子程序
N035 G68 X0 Y0 P90；坐标轴旋转 90°
N040 M98 P11；调用去凸台周围余量子程序
N045 G68 X0 Y0 P180；坐标轴旋转 180°
N050 M98 P11；调用去凸台周围余量子程序
N055 G68 X0 Y0 P270；坐标轴旋转 270°
N060 M98 P11；调用去凸台周围余量子程序
N065 G00 Z100 M09；刀具快速抬起，切削液关闭
N070 G69 G49；取消旋转和刀具长度补偿
N075 X100 Y0 M05；退回到工件右侧，主轴停止
N080 M30；程序结束并返回程序开头
%11；子程序号（30mm×30mm×2mm 凸台）
N10 G01 X90 Y35 F150；直线插补到 XY 平面上工件绝对坐标值为（90，35）处
N15 X35 R5；直线插补到 XY 平面上工件绝对坐标值为（35，35）处，并倒 *R*5mm 圆角
N20 Y90；直线插补到 XY 平面上工件绝对坐标值为（35，90）处
N25 X21；直线插补到 XY 平面上工件绝对坐标值为（21，90）处
N30 Y21；直线插补到 XY 平面上工件绝对坐标值为（21，21）处
N35 X90；直线插补到 XY 平面上工件绝对坐标值为（90，21）处
N40 Y7；直线插补到 XY 平面上工件绝对坐标值为（90，7）处
N45 X7；直线插补到 XY 平面上工件绝对坐标值为（7，7）处
N50 Y100；直线插补到 XY 平面上工件绝对坐标值为（7，100）处
N55 M99；子程序结束并返回主程序

（3）ϕ3mm 中心定位孔加工

O413；定位孔加工程序文件名
%413；宏程序头
N10　T02　M06；调用2号刀具（ϕ3mm 中心钻）
N20　G17　G90　G21　G94　G54；程序初始工艺状态设置
N30　G43　G00　G01　H02　Z50　F800　M07；建立刀具长度补偿，打开切削液
N35　G00　X－90　Y0　M03　S1500；移动刀具到工件左侧，主轴正转，转速为1500r/min
N40　G98　G81　X0　Y0　Z－6　R3　F60；调用钻削定位孔的固定循环程序
N50　G80；取消固定循环
N60　G00　Z200　M09；刀具快速抬起离开工件，关闭切削液
N70　X－100　Y0　M05；刀具快速移动到工件左侧，主轴停止旋转
N75　G49；取消刀具长度补偿
N80　M30；程序结束，返回程序开头

（4）ϕ20mm×35mm 预钻不通孔加工

O414；预钻孔加工程序名
%414；程序号
N10　T03　M06；调用2号刀具（ϕ20mm 麻花钻）
N20　G17　G90　G21　G94　G54；程序初始工艺状态设置
N30　G43　G00　G01　H03　Z50　F500　M07；建立刀具长度补偿，打开切削液
N35　G00　X－90　Y0　S300　M03；移动刀具到工件左侧，主轴正转，转速为300r/min
N40　G98　G73　X0　Y0　Z－35　R3　Q－10　K5　F60；调用钻削定位孔的固定循环程序
N50　G80；取消固定循环
N60　G00　Z200　M09；刀具快速抬起离开工件，关闭切削液
N70　X－100　Y0　M05；刀具快速移动到工件左侧，主轴停止旋转
N75　G49；取消刀具长度补偿
N80　M30；程序结束，返回程序开头

（5）粗铣100mm×100mm×35mm 矩形凹槽

O415；粗铣100mm×100mm×35mm 矩形凹槽宏程序文件名
%415 ；宏程序号
N010　#20＝100.0 ；烟灰缸凹槽最终加工长度和宽度
　　#2＝5.0 ；Z 轴递增均值
　　#4＝0.75 ；有效刀具直径百分比（#4≤1）
　　#3＝10.0 ；刀具半径
　　#10＝0.5 ；精加工余量
　　#28＝－5.0 ；第一次背吃刀量
　　#30＝2＊#4＊#3 ；刀具中心在X、Y 轴上的轴向移动量等于2ED
　　#31＝#30 ；把#30 赋给中间变量#31

#32 = #20/2 - #3 - #10；凹槽内 X、Y 正向最大移动量
N020 T03 M06；调用 3 号刀具（ϕ20mm 麻花钻）
N025 G17 G90 G21 G94 G54；程序初始工艺状态设置
N030 G43 G00 H01 Z10 M07；建立刀具长度补偿，打开切削液
N035 G00 X0 Y0；刀具快速移动到凹槽中心上方
N038 S580 M03；主轴正转，转速为 580r/min
N040 G01 Z0.5 F1000；刀具快速下降到零件安全高度
N045 WHILE #28GE -34.5 ；如果#28 小于 -34.5，则程序跳转到 N140 程序段
N050 G01 Z [#28] F600 ；刀具在 Z 方向逐层下降
N055 WHILE #31LE#32 ；如果#31 大于#32，则程序跳转到 N095 程序段
N060 G01 X [#31] F150；刀具直线插补到凹槽右侧
N065 Y [#31]；刀具直线插补到凹槽右上方
N070 X [-#31]；刀具直线插补到凹槽左上方
N075 Y [-#31]；刀具直线插补到凹槽左下方
N078 X [#31] F150；刀具直线插补到凹槽右下方
N080 Y0；直线插补 X 轴上
N085 #31 = #31 + #30 ；刀具 X、Y 轴向移动量叠加
N090 ENDW ；返回循环体
N095 G01 X [#32]；刀具直线插补到凹槽右侧留一个精加工余量处
N100 Y [#32]；刀具直线插补到凹槽上方留一个精加工余量处
N105 X [-#32]；刀具直线插补到凹槽左侧留一个精加工余量处
N110 Y [-#32]；刀具直线插补到凹槽下方留一个精加工余量处
N115 X [#32]；刀具直线插补到凹槽右侧留一个精加工余量处
N120 Y0 ；刀具直线插补到 X 轴上
N125 X0 ；刀具直线插补到凹槽中心
N130 #28 = #28 - #2 ；Z 向深度叠加
N135 ENDW ；返回循环体
N140 G00 Z100 M09；刀具快速退离零件，关闭切削液
N145 X -90 Y0 M05 ；返回起刀点，主轴停止
N148 G49；取消刀具长度补偿
N150 M30 ；程序结束并返回程序开头

说明：通过改变#2（Z 轴均值递减初始值）的值来进行分层加工

（6）粗、精加工 120mm × 120mm × 15mm 矩形外轮廓

O416；粗、精加工 120mm × 120mm × 15mm 矩形外轮廓程序文件名
%416；宏程序号
N010 T01 M06；调用 1 号刀具（ϕ20mm 立铣刀）
N015 G17 G90 G21 G94 G54；程序初始工艺状态设置
N020 G43 G00 H01 Z50 M07；建立刀具长度补偿，打开切削液
N022 G00 X -90 Y0 S580 M03；移动刀具到工件左侧，主轴正转，转速为

580r/min
N025　G01　Z5　F1000；刀具快速下降到工件上方安全距离
N030　Z－15　F380；刀具以工进速度下降到最终加工深度
N035　G42　X－80　Y20　F350　D06；建立刀具半径补偿，刀具快速移到切入圆起点
N040　G02　X－60　Y0　R20　F150；刀具以 1/4 圆弧顺圆切线切入
N045　G01　Y－60　R15；沿轮廓－Y 走刀
N050　X60　R15；沿轮廓＋X 走刀
N055　Y60　R15；沿轮廓＋Y 走刀
N060　X－60　R15；沿轮廓－X 走刀
N065　Y0 ；沿轮廓－Y 走刀，回到切入点
N070　G02　X－80　Y－20　R20；刀具以 1/4 圆弧顺圆切线切出
N075　G40　G01　X－90　Y0　F450；回到起刀点
N080　G00　G90　Z100　M09；刀具快速抬起离开工件，切削液关闭
N085　G49　M05；取消刀具长度补偿，主轴停止
N090　M30；程序结束并返回程序开头

说明：通过改变刀具半径 D06 的值来进行粗、精加工

（7）四棱锥台粗、精加工

O417；四棱锥台程序文件名
%417 ；宏程序号
N010　T01　M06；调用 7 号刀具
N015　G17　G90　G21　G94　G54；程序初始工艺状态设置
N020　G43　G00　H01　Z10　M07；建立刀具长度补偿，打开切削液
N022　G00　X－100　Y0　S1600　M03；移动刀具到工件左侧，主轴正转，转速为 1600r/min
N025　#25＝－45.0；烟灰缸矩形轮廓垂直（Z）方向最终加工深度尺寸值
　　#4＝0.5；斜面斜率（（锥底长－锥顶长）/2/高）
　　#16＝0.1～0.5 ；垂向每次提高量
　　#18＝0.05～0.25 ；X 和 Y 方向每次单边缩小量（#4×#16）
　　#50＝75 ；刀具切入初始点的坐标值
N030　Z2；刀具快速下降到工件上方安全距离
N035　WHILE #25LE－15 ；如果#25 大于－15，则程序跳转到 N105 程序段
N040　G01　Z［#25］　F1000 ；刀具以工进速度下降到最终加工深度
N045　G90　G42　G01　X［－#50－20］　Y20　F500　D06；直线插补到切入圆起点
N050　G02　X［－#50］　Y0　R20　F350；以 1/4*R*20mm 的圆弧切入
N055　G01　Y［－#50］　R15；直线插补并倒 *R*15mm 圆角
N060　X［#50］　R15；直线插补并倒 *R*15mm 圆角
N065　Y［#50］　R15；直线插补并倒 *R*15mm 圆角
N070　X［－#50］　R15 ；直线插补并倒 *R*15mm 圆角
N075　Y0；直线插补到切入圆终点

N080 G02 X［－#50－20］ Y－20 R20 F500；以 1/4R20mm 的圆弧切出

N085 G40 G01 Y0；取消刀具半径补偿，退回起刀点

N090 #25＝#25＋#16；高度均值增加

N095 #50＝#50－#18；长度和宽度均值减少

N100 ENDW；返回循环体

N105 G00 Z100 M09；刀具快速抬起离开工件，切削液关闭

N110 G49 M05；取消刀具长度补偿，主轴停止

N115 M30；程序结束并返回程序开头

说明：根据零件表面粗糙度要求调整#16（0.1～0.5mm）的值，#18 随之变化，进行粗、精加工。

注意：刀具长度补偿时，应根据所选用的铣刀是平底铣刀还是球头铣刀来进行补偿。因为这两种铣刀的刀心位置不同。平底铣刀的刀心在铣刀端面齿中心，球头铣刀的刀心在球刀球头中心。

（8）精铣 100mm×100mm×35mm 矩形凹槽

O418；精铣 100mm×100mm×35mm 矩形凹槽宏程序文件名

%418；宏程序号

N010 #4＝0.8；有效刀具直径百分比（#4≤1）

#3＝4；刀具半径

#10＝0.5；精加工余量

#30＝2＊#4＊#3；刀具在 X、Y 轴上的轴向移动量为 2ED

#31＝#30；把#30 赋给中间变量#31

#32＝50－#3；凹槽内 X、Y 轴上的正向最大轴向移动量

N020 T05 M06；调用 5 号刀具（ϕ8mm 加长立铣刀）

N025 G17 G90 G21 G94 G54；程序初始工艺状态设置

N030 G43 G00 H05 Z10 M07；建立刀具长度补偿，打开切削液

N032 S850 M03；移动刀具到工件左侧，主轴正转，转速为 850r/min

N035 G00 X0 Y0；刀具快速移动到凹槽中心上方

N040 G01 Z－30 F1000；刀具快速下降到零件安全高度

N050 G01 Z－35 F600；刀具在 Z 方向下降至零件凹槽最终深度处

N055 WHILE #31LE#32；如果#31 大于#32，则程序跳转到 N095 程序段

N060 G01 X［#31］ F150；刀具直线插补到凹槽右侧

N065 Y［#31］；刀具直线插补到凹槽右上方

N070 X［－#31］；刀具直线插补到凹槽左上方

N075 Y［－#31］；刀具直线插补到凹槽左下方

N078 X［#31］；刀具直线插补到凹槽右下方

N080 Y0；直线插补 X 轴上

N085 #31＝#31＋#30；刀具 X、Y 轴向移动量叠加

N090 ENDW；返回循环体

N095 G41 G01 X45 Y－5 D10；刀具左补偿，直线插补到凹槽右侧

N100　G03　X50　Y0　R5；刀具圆弧插补，圆弧切入到凹槽的一个精加工余量处
N102　Y50　R5；刀具直线插补到凹槽右上侧留一个精加工余量处
N105　X－50　R5；刀具直线插补到凹槽左上侧留一个精加工余量处
N110　Y－50　R5；刀具直线插补到凹槽左下方留一个精加工余量处
N115　X50　R5 ；刀具直线插补到凹槽右下侧留一个精加工余量处
N120　Y0；刀具直线插补到过 X 轴上
N125　G03　X45　Y5　R5；刀具圆弧插补，圆弧切出凹槽
N130　G40　G01　X0　Y0；取消刀具左补偿，直线插补返回凹槽中心
N140　G00　Z100　M09；刀具快速退离零件
N145　G49　X－90　Y0　M05；取消刀具长度补偿，返回起刀点，主轴停止
N150　M30；程序结束并返回程序开头

（9）*R*5mm 圆弧曲面粗、精加工

O419；*R*5mm 圆弧曲面加工宏程序文件名
%419 ；宏程序号
N010　T06　M06；调用 6 号刀具（*R*4mm 球头铣刀）
N015　G17　G90　G21　G94　G54；程序初始工艺状态设置
N020　G43　G00　H06　Z10　M07；建立刀具长度补偿，打开切削液
N022　G00　X100　Y0　S1600　M03；移动刀具到工件右侧，主轴正转，转速为 1600r/min
N025　#8＝4；球头铣刀圆弧半径
　　#9＝5；需加工圆弧半径值
　　#1＝0；自变量刀具起始角度初始值
　　#2＝20；切入（切出）圆半径
　　#4＝5；自变量角度递增均值
　　#17＝15；矩形四周圆角半径
　　#28＝45；轮廓单边定长
　　#29＝55；顶部 *R* 曲面顶点与凹槽中心的距离
N030　WHILE #1LE90 ；如果#1 大于 90°，则跳转到 N115 程序段
　　#30＝［#8＋#9］＊［SIN［#1＊PI/180］－1］；球头刀心的 Z 坐标
　　#31＝#29＋［#8＋#9］＊COS［#1＊PI/180］；任意点刀心离开凹槽中心的距离
　　#32＝#17－#9＊［1－COS［#1＊PI/180］］；切削矩形轮廓的四周圆角变半径值
N035　G90　G01　Z［#30］　F500 ；在绝对坐标方式下，刀具在工件右侧下降到#30 处
N040　G01　X［#31＋#2］　Y［－#2］；刀具直线插补到切入圆起点
N045　G91　G02　X［－#2］　Y［#2］　R［#2］　F300；在增量坐标方式下，以 1/4 的顺圆弧切入
N050　G01　Y［#28］；在 Y 向直线定长插补
N055　G03　X［－#32］　Y［#32］　R［#32］；变半径圆弧插补
N060　G01　X［－2＊#28］；在－X 向直线定长插补

```
N065  G03  X［-#32］  Y［-#32］  R［#32］；变半径圆弧插补
N070  G01  Y［-2*#28］；在-Y 向直线定长插补
N075  G03  X［#32］  Y［-#32］  R［#32］；变半径圆弧插补
N080  G01  X［2*#28］；在 X 向直线定长插补
N085  G03  X［#32］  Y［#32］  R［#32］；变半径圆弧插补
N090  G01  Y［#28］；在 Y 向直线定长插补
N095  G02  X［#2］  Y［#2］  R［#2］；以 1/4R 的顺圆弧斜切出
N100  G01  Y［-#2］；直线插补，退回起刀点
N105  #1=#1+#5；自变量角度值均值叠加
N110  ENDW；返回循环体
N115  G90  G01  X0  Y0；刀具移到凹槽中心
N120  WHILE #1LE180；如果#1 大于 180°，则跳转到 N210 程序段
N125  #30=［#8+#9］*［SIN［#1*PI/180］-1］；球头刀心的 Z 坐标
      #31=#29+［#8+#9］*COS［#1*PI/180］；任意刀心点离开凹槽中心的距离
      #32=#17-#9*［1-COS［#1*PI/180］］；切削矩形轮廓的四周圆角变半径值
N130  G90  G01  Z［#30］  F500；在绝对坐标方式下，刀具在工件右侧下降到#30
                                处
N135  G01  X［#31-#2］  Y［-#2］；刀具直线插补到切入圆起点
N140  G91  G03  X［#2］  Y［#2］  R［#2］  F300；在增量坐标方式下，以 1/4
                                                 的逆圆弧切入
N145  G01  Y［#28］；在 Y 向直线定长插补
N150  G03  X［-#32］  Y［#32］  R［#32］；变半径圆弧插补
N155  G01  X［-2*#28］；在-X 向直线定长插补
N160  G03  X［-#32］  Y［-#32］  R［#32］；变半径圆弧插补
N165  G01  Y［-2*#28］；在-Y 向直线定长插补
N170  G03  X［#32］  Y［-#32］  R［#32］；变半径圆弧插补
N175  G01  X［2*#28］；在 X 向直线定长插补
N180  G03  X［#32］  Y［#32］  R［#32］；变半径圆弧插补
N185  G01  Y［#28］；在 Y 向直线定长插补
N190  G03  X［-#2］  Y［#2］  R［#2］；以 1/4 的逆圆弧切出
N195  G01  Y［-#2］；直线插补，退回起刀点
N200  #1=#1+#5；自变量角度值均值叠加
N205  ENDW；返回循环体
N210  G90  G00  Z100  M09；刀具快速抬起离开工件，切削液关闭
N215  X100  G49  M05；退回零件右侧，取消刀具长度补偿，主轴停止
N220  M30；程序结束并返回程序开头
```

说明：根据零件表面粗糙度要求调整#4（1~5mm）的值，进行粗、精加工。

（10）加工 12mm×12mm×6mm 凹槽

O4110；加工 12mm×12mm×6mm 凹槽程序文件名

```
%4110；宏程序号
N005　T07　M06；调用7号刀具（φ8mm立铣刀）
N010　G17　G90　G21　G94　G54；程序初始工艺状态设置
N015　G43　G00　H07　Z50；建立刀具长度补偿，打开切削液
N020　G00　X0　Y0　S800　M03；刀具快速移动到凹槽中心，主轴正转，转速为
　　　800r/min
N025　Z5　M07；刀具下降到工件安全高度，打开切削液
N030　M98　P110；调用粗加工凹槽子程序
N035　G68　X0　Y0　P90；坐标轴旋转90°
N040　M98　P110；调用粗加工凹槽子程序
N045　G68　X0　Y0　P180；坐标轴旋转180°
N050　M98　P110；调用粗加工凹槽子程序
N055　G68　X0　Y0　P270；坐标轴旋转270°
N060　M98　P110；调用粗加工凹槽子程序
N065　G00　Z100　M09；刀具快速抬起，切削液关闭
N070　G69　G49；取消旋转和刀具长度补偿
N075　X100　Y0　M05；退回到工件右侧，主轴停止
N080　M30；程序结束并返回程序开头
%110；凹槽粗加工程序号
N10　#1 = -3；第一次背吃刀量赋值
N15　WHILE #1GE -6；如果#1小于-6，则程序跳转到N60程序段
N20　G01　Z#1　F500；刀具下降到背吃刀量
N25　G41　G01　X40　Y-6　F450　D07；刀具左补偿，直线插补到凹槽附近
N30　X65　F200；X向直线插补
N35　Y6　F500；X向直线插补
N40　X45；X向直线插补
N45　G40　Y0；取消刀具半径补偿
N50　#1 = #1 -3；背吃刀量叠加
N55　ENDW；返回循环体
N60　G01　Z-10；刀具下降到零件表面下10mm处
N65　X65　F120；直线插补
N70　X0　F1000；回到凹槽中心
N75　M99；
```

（11）加工 $R6$mm×12mm×12mm凹槽

```
O4111；加工R6mm×12mm×12mm凹槽程序文件名
%4111；宏程序号
N005　T08　M06；调用8号刀具（R5mm球头铣刀）
N010　G17　G90　G21　G94　G54；程序初始工艺状态设置
N015　G43　G00　H11　Z50；建立刀具长度补偿，打开切削液
```

N020 G00 X0 Y0 S1200 M03；刀具快速移动到凹槽中心，主轴正转，转速为1200r/min
N025 Z5 M07；刀具下降到工件安全高度
N030 M98 P111；调用精加工凹槽子程序
N035 G68 X0 Y0 P90；坐标轴旋转 90°
N040 M98 P111；调用精加工凹槽子程序
N045 G68 X0 Y0 P180；坐标轴旋转 180°
N050 M98 P111；调用精加工凹槽子程序
N055 G68 X0 Y0 P270；坐标轴旋转 270°
N060 M98 P111；调用精加工凹槽子程序
N065 G00 Z100 M09；刀具快速抬起，切削液关闭
N070 G69 G49；取消旋转和刀具长度补偿
N075 X100 Y0 M05；退回到工件右侧，主轴停止
N080 M30；程序结束并返回程序开头
%111；凹槽粗、精加工宏程序号
N010 #2 =0；自变量宽度初始值
#3 =0.5；自变量宽度递增均值
#8 =4；球头铣刀半径
#9 =6；需铣削圆弧半径
N015 G01 Z-10 F500；刀具下降到背吃刀量
N020 WHILE #2LE [#9-#8]；如果#2 大于 [#9-#8]，则程序跳转到 N060 程序段（进入凹槽粗加工循环）
N025 G41 G01 X40 Y [-#2] F450 D08；刀具左补偿，直线插补到凹槽附近
N030 X65 F200；X 向直线插补
N035 Y [#2] F500；X 向直线插补
N040 X45；X 向直线插补
N045 G40 Y0；取消刀具半径补偿
N050 #2 =#2 +#3；切削宽度叠加
N055 ENDW；返回循环体
N060 #1 =0；自变量角度初始值
#4 =5；自变量角度递增均值
N065 WHILE #1LE90；如果#1 大于 90°，则程序跳转到 N110 程序段（进入凹槽精加工循环）
#10 = [#9-#8] * SIN [#1 * PI/180]；Z 向坐标变化值
#11 = [#9-#8] * COS [#1 * PI/180]；Y 向坐标变化值
N070 G01 Z [-10-#10] F500；刀具下降到背吃刀量
N075 G01 X40 Y [-#11] F450 ；直线插补到凹槽附近
N080 X65 F200；X 向直线插补
N085 Y [#11] F500；Y 向直线插补

N090　X45；X 向直线插补
N095　Y0；刀具退回凹槽中心轴上
N100　#1 = #1 + #4；自变量角度初始值叠加
N105　ENDW；返回循环体
N110　G00　X0　Z0；退回到凹槽中心
N115　M99；子程序结束，返回主程序

4.2　五角星的宏程序编程与加工

1. 五角星的零件图

五角星的零件图如图 4-2 所示。

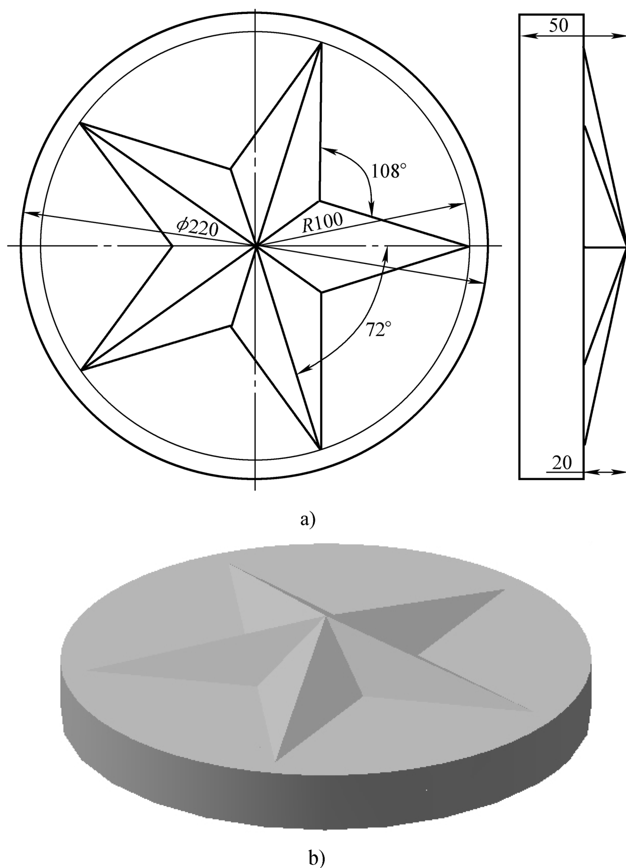


图 4-2　五角星零件示意图
a）零件图　b）效果图

2. 工艺分析

五角星的主要结构是由多个曲面组成的凸型轮廓曲面，假设曲面之间采用半径为 R3mm 的圆弧过渡，并且沿着一定的角度向圆的中心线性增高，相邻曲面成 108°。

（1）数控加工工艺 铣削 ϕ200mm×20mm 外圆，铣削正五边形，铣削正五锥，铣削五个三角形去除五角星余量，粗、精加工五角星。

（2）工件的定位与夹紧 在机床工作台面上安装一个三爪自定心卡盘，工件直接用三爪自定心卡盘夹紧。工件中心为工件坐标系 X、Y 的原点，上表面为工件坐标系 Z 的零点。

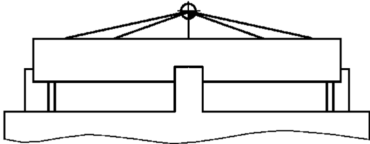
（3）刀具选择 根据工件的加工工艺，外圆、正五边形、正五锥、五个三角形去除五角星余量铣削均选用 ϕ20mm 高速钢粗齿立铣刀；五角星粗、精加工均采用 ϕ6mm 的高速钢粗齿立铣刀。

数控加工工序卡见表 4-2。

表 4-2 五角星的数控加工工序卡

数控加工工序卡片	零件名称	零件图号	程序号	编制	材料	共 2 页
	五角星	HNCM0002	FZG42…	冯志刚	铝	第 2 页

夹紧草图：
加工方式
采用顺铣



工件零点：P0
刀具起刀点：
X：－150
Y：0
Z：100

工步号	工 步 内 容	刀具			辅具	切削用量			量检具
		T 码	种类规格	刀长		S/（r/min）	F/（mm/min）	t/mm	
1	ϕ100mm×20mm 外圆铣削	T01	ϕ20mm 高速钢粗齿立铣刀			560	150	10	游标卡尺，深度尺
2	正五边形铣削						150	10	
3	正五锥铣削						350	0. 5	
4	5 个三角形铣销（去余量）						160	10	
5	五角星粗铣	T02	ϕ6mm 高速钢粗齿立铣刀			850	350	0. 5	游标卡尺，半径样板
6	五角星精铣					1200	250	0. 2	

3. 程序编制结构框图（略）

4. 程序编制（SINUMERIK802D 数控系统）

（1）ϕ200mm×20mm 外圆铣削

FZG421. MPF；R 参数程序名

N10 T01 D01 M06；调用 1 号刀具（ϕ20mm 高速钢粗齿立铣刀）

N15 G17 G90 G71 G94 G54；程序初始工艺状态设置

N20 G00 G49 Z50 F800 M07；建立刀具长度补偿，打开切削液

N22　G00　X150　Y0　S560　M03；刀具快速移到工件右侧，主轴正转，转速为 560r/min
N25　G01　Z－20　F1000；刀具快速下降到最终加工深度
N30　G42　X120　Y－20　F560；建立刀具右补偿，直线插补到切入圆起点
N35　G02　X100　Y0　CR＝20　F150；以半径 *R* 等于 20mm 的 1/4 圆弧切线切入
N40　G03　I－100　J0；整圆加工
N45　G02　X120　Y20　CR＝20；以半径 *R* 等于 20mm 的 1/4 圆弧切线切出
N50　G40　G00　X150　Y0　M09；取消刀具补偿，退回工件右侧，关闭切削液
N55　Z100　M05；主轴停止
N58　G49；取消刀具长度补偿
N60　M02；程序结束，返回程序开头

说明：通过改变刀具半径 D01 的值来进行粗、精加工。

（2）正五边形铣削

FZG422. MPF；R 参数程序名
N10　M06　T01　D01；调用 1 号刀具（ϕ20mm 高速钢粗齿立铣刀）
N15　G17　G90　G71　G94　G54；程序初始工艺状态设置
N20　G00　G49　Z50　F800　M07；建立刀具长度补偿，打开切削液
N22　G00　X－100　Y－90　S560　M03；刀具快速移动到工件左下方，主轴正转，转速为 560r/min
N25　G01　Z－20　F1000；刀具快速下降到最终加工深度
N30　R1＝100＊SIN（36）　R2＝100＊COS（36）　R3＝0；参数设置
N35　G42　X＝－R1　Y＝－R2　F150；建立刀具右刀补，直线插补
N40　MARKE1：G91　X＝2＊R1；增量方式直线插补定长（五边形边长）
N45　AROT RPL＝72；坐标轴旋转 72°
N50　R3＝R3＋1；计数器累加
N55　IF　R3 < ＝5　GOTOB　MARKE1；如果 R3 小于或等于 5，则程序跳转到 MARKE1 程序段
N60　G01　X5；延长线切出
N65　TRANS；取消旋转
N70　G90　G40　G01　X－100　Y－90　M09；取消刀具补偿
N75　G00　Z100　M05；主轴停止
N78　G49；取消刀具长度补偿
N80　M02；程序结束，返回程序开头

（3）正五锥铣削

FZG423. MPF；R 参数程序名
N10　T01　D01　M06；调用 1 号刀具（ϕ20mm 高速钢粗齿立铣刀）
N15　G17　G90　G71　G94　G54；程序初始工艺状态设置
N20　G00　G49　Z50　F800　M07；建立刀具长度补偿，打开切削液
N22　G00　X－100　Y－90　S560　M03；刀具快速移动到工件左下方，主轴正转，转

速为 560r/min

N25 L3；调用斜面加工参数程序
N30 ROT RPL＝72；坐标轴旋转 72°
N35 L3；调用斜面加工参数程序
N40 ROT RPL＝144；坐标轴旋转 72°
N45 L3；调用斜面加工参数程序
N50 ROT RPL＝216；坐标轴旋转 72°
N55 L3；调用斜面加工参数程序
N30 ROT RPL＝288；坐标轴旋转 72°
N65 L3；调用斜面加工参数程序
N70 TRANS；取消旋转
N75 G00 Z100 M09；刀具快速抬起离开工件，切削液关闭
N80 X－150 Y0 M05；刀具退到工件左侧，主轴停止
N82 G49；取消刀具长度补偿
N85 M02；程序结束，返回程序开头
L3. SPF；斜面加工 R 参数子程序名
N10 R1＝100 * SIN（36）；刀具切削起点横坐标
R2＝100 * COS（36）；刀具切削起点纵坐标
R3＝－20；最终背吃刀量
R4＝TAN（R1/R2）；斜面斜率
R5＝0.1～0.5；Z 向每次递增量
R6＝10；刀具半径
N15 G01 Z＝R3 F1000；快速下降到加工高度
N20 MARKE1：G01 X＝－R1－R6 Y＝－R2－R6 F350；直线插补到初始点
N25 R3＝R3＋R5；背吃刀量叠加一个递增量
N30 R2＝R2－R4 * R5；Y 向切削宽度根据斜面斜率和 Z 向递增量递减一个均值
N35 G01 Y＝－R2－R6 Z＝R3；沿斜面上升到下一个切削初始点
N40 X＝R1＋R6；直线插补到工件右侧
N45 R3＝R3＋R5；背吃刀量叠加一个递增量
N50 R2＝R2－R4 * R5；Y 向背吃刀量根据斜面斜率和向递增量递减一个均值
N55 G01 Y＝－R2－R6 Z＝R3；沿斜面上升到下一个切削初始点
N60 IF R3 < ＝0 GOTOB MARKE1；如果 R3 小于或等于 0，则程序跳转到 MARKE1 程序段
N65 Y－100；刀具退离工件
N40 RET；R 参数子程序结束并返回主程序

（4）5 个三角形铣削（去余量）

FZG424. MPF；R 参数程序名
N10 T01 D01 M06；调用 1 号刀具（ϕ20mm 高速钢粗齿立铣刀）
N15 G17 G90 G71 G94 G54 ；程序初始工艺状态设置

N20　G00　H01　Z50　F800　M07；建立刀具长度补偿，打开切削液
N22　G00　X－100　Y－120　S560　M03；刀具快速移动到工件左下方，主轴正转，转速为560r/min
N25　L4；调用三角形铣削去余量 R 参数子程序
N30　ROT　RPL＝72；坐标轴旋转 72°
N35　L1；调用三角形铣削去余量参数程序
N40　ROT　RPL＝144；坐标轴旋转 72°
N45　L4；调用三角形铣削去余量 R 参数子程序
N50　ROT　RPL＝216；坐标轴旋转 72°
N55　L4；调用三角形铣削去余量 R 参数子程序
N60　ROT　RPL＝288；坐标轴旋转 72°
N65　L4；调用三角形铣削去余量 R 参数子程序
N70　TRANS；取消旋转
N75　G00　Z100　M09；刀具快速抬起离开工件，切削液关闭
N80　X－150　Y0　M05；刀具退到工件左侧，主轴停止
N82　G49；取消刀具长度补偿
N85　M02；程序结束，返回程序开头
L4. SPF；三角形铣削去余量 R 参数子程序名
N10　R1＝100＊SIN（36）；刀具切削起点横坐标
　　R2＝100＊COS（36）；刀具切削起点纵坐标
　　R3＝－20；最终背吃刀量
　　R4＝R1/TAN（54）；三角形的高
N12　G00　X0　Y－120；刀具快速移动到工件正下方
N15　G01　Z＝R3　F1000；刀具下降到加工高度
N20　G42　G01　X＝－R1　Y＝－R2　F350；直线插补到初始点
N25　X0　Y＝－R2＋R4　RND＝10；背吃刀量叠加
N30　X＝R1　Y＝－R2；Y 向切削宽度叠加
N35　X＝－R1＋18；沿斜面上升到下一个切削初始点
N40　X0　Y＝－R2＋R4－18；直线插补到工件右侧
N45　X＝R1－18　Y＝－R2；背吃刀量叠加
N50　G40　X0　Y－120；Y 向切削宽度叠加
N55　G00　Z10；刀具退离工件
N60　RET；R 参数子程序结束并返回主程序
（5）五角星粗、精加工
FZG425. MPF；R 参数程序名
N10　T02　D01　M06；调用 2 号刀具（ϕ6mm 高速钢粗齿立铣刀）
N15　G17　G90　G71　G94　G54；程序初始工艺状态设置
N20　Z50　F800　M07；建立刀具长度补偿，打开切削液
N22　G00　X－100　Y－90　S850　M03；刀具快速移动到工件左下方，主轴正转，转

速为 850r/min

N25 L5；调用曲面加工参数程序
N30 ROT RPL = 72；坐标轴旋转 72°
N35 L5；调用曲面加工参数程序
N40 ROT RPL = 144；坐标轴旋转 72°
N45 L5；调用曲面加工参数程序
N50 ROT RPL = 216；坐标轴旋转 72°
N55 L5；调用曲面加工参数程序
N30 ROT RPL = 288；坐标轴旋转 72°
N65 L5；调用曲面加工参数程序
N70 TRANS；取消旋转
N75 G00 Z100 M09；刀具快速抬起离开工件，切削液关闭
N80 X - 150 Y0 M05；刀具退到工件左侧，主轴停止
N85 M02；程序结束，返回程序开头
L5. SPF；斜面加工 R 参数程序名
N10 R1 = 100 * SIN（36）；刀具切削起点横坐标
R2 = 100 * COS（36）；刀具切削起点纵坐标
R3 = - 20；最终背吃刀量
R4 = R1/TAN（54）；三角形的高
R5 = R2 - R4；底边长
R6 = TAN（R5/20）；斜面斜率
R7 = 0. 5；Z 向每次递增量
R8 = R3；将 R3 赋给中间变量 R8
N12 G00 X0 Y - R2；刀具快速移动到工件正下方
N15 G01 Z = R3 F1000；刀具下降到加工高度
N20 MARKE1：G42 G01 X = - R1 Y = - R2 Z = R8 F350；直线插补到初始点
N25 X0 Y = - R5 Z = R3 CR = 3；背吃刀量叠加
N30 X = R1 Y = - R2 Z = R8；Y 向切削宽度叠加
N35 G40 X0；沿斜面上升到下一个切削初始点
N40 R3 = R3 + R7；直线插补到工件右侧
N45 R5 = R5 - R7 * R6；背吃刀量叠加
N50 IF R3 < = 0 GOTOB MARKE1；如果 R3 小于或等于 0，则程序跳转到 MARKE1 程序段
N55 Y - 100；刀具退离工件
N60 RET；R 参数子程序结束并返回主程序

说明： 精加工时只需将参数 R7 的值改为 0. 1mm，再根据表面粗糙度要求适当调整切削用量即可。

4.3　快餐饭盒凹模的宏程序编程与加工

1. 快餐饭盒凹模的零件示意图

快餐饭盒凹模的零件示意图如图 4-3 所示。

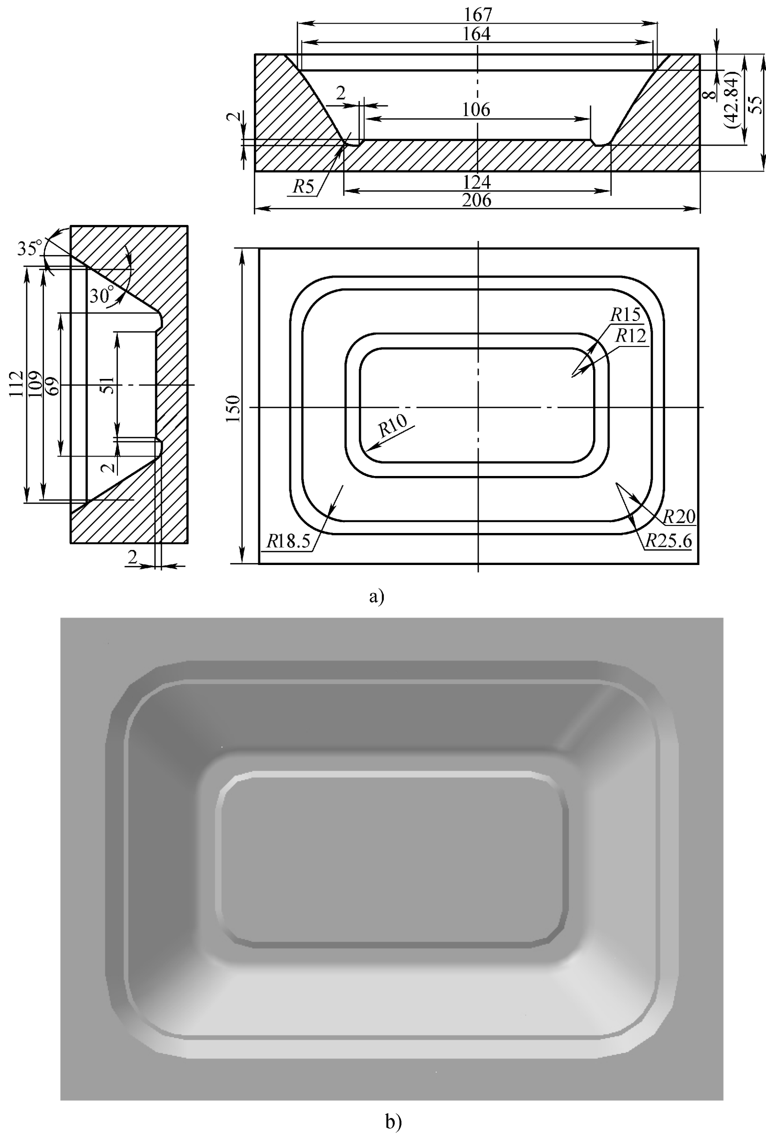


图 4-3　快餐饭盒凹模零件示意图

a）零件图　b）效果图

2. 工艺分析

快餐饭盒凹模的主要结构是由多个曲面组成的凹型型腔，型腔四周的斜平面之间采用半径为 20mm 的圆弧过渡，斜平面与底平面之间采用半径为 5mm 的圆弧过渡，在凹模的底平

面上有一个四周为斜平面的锥台。凹模上部型腔为锥面，用于压边，模具的外形结构较为简单，为标准的长方体。

（1）数控加工工艺　粗加工整个型腔，去除大部分加工余量；精加工上凹槽；精加工下凹槽；精加工底部锥台四周表面；精加工底部上表面；精加工上、下凹槽过渡平面。

（2）工件的定位与夹紧　工件直接安装在机床工作台面上，用两块压板压紧。凹模中心为工件坐标系 X、Y 的原点，上表面为工件坐标系 Z 的零点。

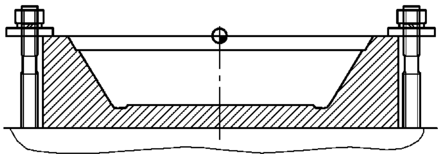
（3）刀具选择　根据工件的加工工艺，锥槽型腔粗加工选用 ϕ20mm 波刃立铣刀。上锥槽侧面精加工采用 ϕ20mm 平底立铣刀；锥底 R5mm 圆槽表面粗、精加工采用 ϕ6（R3）mm 球头铣刀。R5mm 圆槽内侧面锥台四周表面的精加工采用 ϕ4mm 平底立铣刀（因锥台直角边与底平面交线距离仅为 4.113mm）；用 ϕ20mm 平底立铣刀精加工底部锥台上表面和上、下凹槽过渡平面。上、下凹槽粗加工一起进行。

数控加工工序卡见表 4-3。

表 4-3　快餐盒凹模的数控加工工序卡

数控加工工序卡片	零件名称	零件图号	程序号	编制	材料	共 2 页
	快餐饭盒凹模	HNCM0003	O43···	冯志刚	45 钢	第 2 页

夹紧草图：
加工方式
采用顺铣



工件零点：P0
刀具起刀点：
X：－150
Y：0
Z：100

工步号	工 步 内 容	刀具			辅具	切削用量			量 检 具
		T 码	种类规格	刀长		S/（r/min）	F/（mm/min）	t/mm	
1	型腔挖锥槽粗加工	T01	ϕ20mm 波刃立铣刀			398	180	2	游标卡尺，深度尺
2	上锥槽侧面粗、精加工	T04	ϕ20mm 平底立铣刀			398	180		
3	锥底 R5mm 圆槽表面粗、精加工	T02	ϕ6mm 球头铣刀			1325	398		
4	R5mm 圆槽底内侧锥面精加工	T03	ϕ4mm 平底立铣刀			1900	290		
5	锥台底上表面精加工	T04	ϕ20mm 平底立铣刀			450	150		游标卡尺，半径样板
6	上、下凹槽过渡平面精加工	T04	ϕ20mm 平底立铣刀			450	150		

3. 程序编制结构框图（略）

4. 程序编制（FANUC 0i 数控系统）

（1）型腔挖槽粗加工宏程序　自变量含义：

#24 = 0；工件四方锥槽中心的 X 绝对坐标值
#25 = 0；工件四方锥槽中心的 Y 绝对坐标值
#26 = -40.0；工件四方锥槽最终加工深度
#21 = 124.0；工件四方锥槽底部长度
#22 = 69.0；工件四方锥槽底部宽度
#18 = 2.0；直槽粗加工 Z 轴每次降层深度
#11 = 0；螺旋线插补切削 Z 轴起点绝对坐标值
#9 = 180.0；切削进给速度
#8 = 0.75；有效刀具直径百分比
#7 = 10.0；刀具半径
#5 = 15；四方锥槽底部圆角半径
#4 = 18.5；四方锥槽顶部圆角半径
#3 = 8；螺旋线切入圆弧半径

```
O431；宏程序名
N005　#29 = #11 - #18 ；第 1 次下降深度
N010　#30 = #21/2 ；1/2 锥槽底部长
N015　#31 = #22/2 ；1/2 锥槽底部宽
N020　#106 = #26 ；把最终加工深度 Z 赋给#106
N025　#12 = 2 * #7 * #8 ；刀具有效切削直径（2DE）
N035　#15 = ［#30 - #7］/#12 ；（U/2 - D）/（2DE）（X 向均宽切削次数）
N040　#116 = #15 ；将 X 向均宽切削次数赋给中间变量#116
N045　#14 = ［#31 - #7］/#15 ；（V/2 - D）/［（U/2 - D）/（2DE）］（Y 向均宽切削厚度）
N050　#15 = FIX［#15］；上取整（X 向分层切削次数取整）
N055　G90　G00　X［#24 + #3］　Y#25 ；刀具移到矩形槽垂直切入点上方
N060　Z#18 ；刀具快速下降到工件上方安全距离
N065　G01　Z#11　F［#9/2］；刀具以工进速度下降
N070　WHILE［#29GE#26］DO1 ；如果#29 小于#26，则程序跳转到 N145 程序段
N075　G02　I#3　Z#29　F#9/4 ；螺旋线切削进给
N080　#100 = 1.0；计数器置初始值
N085　WHILE［#100LE#15］DO2 ；如果#100 大于#15，则程序跳转到 N135 程序段
N090　G01　X［#24 + #100 * #12］　F［#9/2］；（X0 + 均宽切削次数 × 有效切削刀具
                                            直径）
N095　Y［#25 - #100 * #14］　R#5 ；（Y0 - 均宽切削次数 × Y 向均宽切削厚度）
N100　X［#24 - #100 * #12］　R#5 ；（X0 - 均宽切削次数 × 有效切削刀具直径）
N105　Y［#25 + #100 * #14］　R#5 ；（Y0 + 均宽切削次数 × Y 向均宽切削厚度）
N110　X［#24 + #100 * #12］　R#5 ；（X0 + 均宽切削次数 × 有效切削刀具直径）
N115　Y#25 ；回到切入点
N120　X［#24 + #3］；退回 Z 向螺旋线切入点
N125　#100 = #100 + 1.0；计数器加 1
```

N130 END2 ；返回循环体 2
N135 #29 = #29 - #18 ；背吃刀量均值递增
N140 END1 ；返回循环体
N145 G00 Z100 ；刀具抬起离开工件表面
N150 M99；宏程序结束并返回主程序

（2）上凹槽粗、精加工程序 自变量含义

#24 = 0；零件中心的工件横向绝对坐标值
#25 = 0 ；零件中心的工件纵向绝对坐标值
#21 = 167.0 ；零件的上凹槽底部长度值
#22 = 112.0 ；零件的上凹槽底部宽度值
#18 = 2.0；刀具起始切削安全高度
#11 = 8.0 ；矩形锥槽深度
#4 = 25.6 ；矩形锥槽顶四角倒圆半径
#5 = 20.0 ；矩形锥槽底四角倒圆半径
#6 = 0.7 ；矩形锥槽四角倒圆半径斜率([(#4 - #5)/#11] = 0.7)
#7 = 10.0 ；刀具半径
#8 = 0.2 ；Z 向步距递增均值
#2 = 35° ；角步距初始角度值
#3 = 20.0 ；切入圆弧半径（C > D）
#9 = 180.0 ；切削进给速度

O432；宏程序名
N005 #40 = #21/2 - #5 - #7；X 向定长
#41 = #22/2 - #5 - #7；Y 向定长
#42 = #5；矩形四角倒圆半径初始值赋给中间变量#42
#31 = 0；X、Y 向递增初始值
N010 G90 G00 X#24 Y#25；指令刀具移到锥槽中心
N015 Z#18；刀具快速下降到工件上方安全距离
N020 WHILE [#11GE0] DO1；如果#11 小于 0，则程序跳转至 N105 程序段
N025 Z - #11；刀具快速下降到矩形锥槽最终加工深度
N030 G91 G01 X#3 Y [#41 + #42 + #31 - #3] F [3 * #9]；刀具以相对坐标方式工进速度移动到切入圆起点
N035 G03 X - #3 Y#3 R#3 F#9；以#3 为半径 1/4 圆弧切线切入
N040 G01 X - #40；定长直线插补
N045 G03 X [- #42 - #31] Y [- #42 - #31] R [#42 + #31]；以#42 + #31 为半径圆弧插补
N050 G01 Y [- 2 * #41]；定长直线插补
N055 G03 X [#42 + #31] Y [- #42 - #31] R [#42 + #31]；以#42 + #31 为半径圆弧插补

N060　G01　X［2 * #40］；定长直线插补
N065　G03　X［#42 + #31］　Y［#42 + #31］　R［#42 + #31］；以#42 + #31 为半径圆弧插补
N070　G01　Y［2 * #41］；定长直线插补
N075　G03　X［ - #42 - #31］　Y［#42 + #31］　R［#42 + #31］；以#42 + #31 为半径圆弧插补
N080　G01　X - #40 ；定长直线插补
N085　G03　X - #3　Y - #3　R#3　F#9 ；以#3 为半径 1/4 圆弧切线切出
N090　G01　X#3 ；直线插补回到起点
N095　#11 = #11 - #8；Z 向步距均值递减
#31 = #31 + #8 * TAN［#2］；X、Y 向随着 Z 向步距的递增而递增
#42 = #42 + 2 * #6/100 ；矩形四角倒圆半径线性递增
N100　END1；返回循环体
N105　G90　G00　X#24　Y#25；刀具快速移动到锥模中心
N110　Z［#18 + 50.0］；刀具快速抬起离开工件
N115　M99；宏程序结束并返回主程序

（3）下凹槽粗、精加工程序　自变量含义

#24 = 0；零件中心的工件横向绝对坐标值
#25 = 0；零件中心的工件纵向绝对坐标值
#21 = 124.0；零件的下凹槽底部长度值
#22 = 69.0；零件的下凹槽底部宽度值
#18 = 2；刀具起始切削安全高度
#11 = 40.0 ；矩形锥槽深度
#4 = 18.5 ；矩形锥槽顶四角倒圆半径
#5 = 15.0 ；矩形锥槽底四角倒圆半径
#6 = 0.0857 ；矩形锥槽四角倒圆半径斜率(［(#4 - #5)/#11］= 0.0857)
#7 = 3.0 ；刀具半径
#8 = 0.2 ；Z 向步距递增均值
#2 = 30° ；锥槽四周侧面与垂直面夹角
#3 = 20.0 ；切入圆弧半径 （C > D）
#9 = 398.0 ；切削进给速度

O433；宏程序名
N005　#40 = #21/2 - #5 - #7；X 向定长
#41 = #22/2 - #5 - #7；Y 向定长
#42 = #5；矩形四角倒圆半径初始值变量#42
#31 = 0；X、Y 向递增初始值
N010　G90　G00　X#24　Y#25；指令刀具移到凹槽中心下刀点
N015　Z#18；刀具快速下降到凹槽中心工件上方安全距离
N020　WHILE［#11GE8.0］DO1；如果#11 小于 8，则程序跳转至 N105 程序段

N025　Z－#11；刀具快速下降到矩形锥槽最终加工深度
N030　G91　G01　X#3　Y［#41＋#42＋#31－#3］　F［3＊#9］；刀具以相对坐标方式工进速度移动到切入圆起点
N035　G03　X－#3　Y#3　R#3　F#9；以#3 为半径 1/4 圆弧切线切入
N040　G01　X－#40；定长直线插补
N045　G03　X［－#42－#31］　Y［－#42－#31］　R［#42＋#31］；以#42＋#31 为半径圆弧插补
N050　G01　Y［－2＊#41］；定长直线插补
N055　G03　X［#42＋#31］　Y［－#42－#31］　R［#42＋#31］；以#42＋#31 为半径圆弧插补
N060　G01　X［2＊#40］；定长直线插补
N065　G03　X［#42＋#31］　Y［#42＋#31］　R［#42＋#31］；以#42＋#31 为半径圆弧插补
N070　G01　Y［2＊#41］；定长直线插补
N075　G03　X［－#42－#31］　Y［#42＋#31］　R［#42＋#31］；以#42＋#31 为半径圆弧插补
N080　G01　X－#40；定长直线插补
N085　G03　X－#3　Y－#3　R#3　F#9；以#3 为半径 1/4 圆弧切线切出
N090　G01　X#3；直线插补回到起点
N095　#11＝#11－#8；Z 向步距均值递减
　　#31＝#31＋#8＊TAN［#2］；X、Y 向随着 Z 向步距的递增而递增
　　#42＝#42＋#8＊#6；矩形四角倒圆半径线性递增
N100　END1；返回循环体
N105　G90　G00　X#24　Y#25；刀具快速移动到凹模中心
N110　Z［#18＋50.0］；刀具快速抬起离开工件
N115　M99；宏程序结束并返回主程序

（4）精加工底部锥台四周表面　自变量含义：

#24＝0；工件零件中心的横向绝对坐标值
#25＝0；工件零件中心的纵向绝对坐标值
#21＝106.0；U—正四棱锥台锥顶的横向尺寸值
#22＝51.0；V—正四棱锥台锥顶的纵向尺寸值
#26＝－42.84；Z—正四棱锥台底部的工件垂向绝对坐标值
#18＝－35.0；R—刀具起始切削安全高度
#11＝－40.84；H—正四棱锥台的高度
#6＝1.0；K—锥面斜率
#7＝2.0；D—刀具半径
#8＝0.2；E—Z 向递增（减）均值
#9＝290；F—切削进给速度

O434；宏程序名
N005　#30 = #21/2；正四棱锥台锥顶的横向尺寸值的一半赋给中间变量#30
　　　#31 = #22/2；正四棱锥台锥顶的纵向尺寸值的一半赋给中间变量#31
N010　G90　G00　X［#24 + #30 + #7］　Y［#25］；指令刀具移到工件右侧下刀点
N015　Z#18；刀具快速下降到工件上方安全距离
N020　WHILE［#11GE#26］DO1；如果#11 小于#26，则跳转至 N075 程序段
N025　G01　Z#11　F［3 * #9］；刀具以工进速度移动
N030　G01　Y［#25 + #31 + #7］　F#9；刀具直线插补到正四棱锥台右上角
N035　X［#24 - #30］；刀具直线插补到正四棱锥台左上角
N040　Y［#25 - #31］；刀具直线插补到正四棱锥台左下角
N045　X［#24 + #30］；刀具直线插补到正四棱锥台右下角
N050　Y［#25］；刀具直线插补到正四棱锥台右侧切入点
N055　#11 = #11 - #8；步距轴向叠减#8
N060　#30 = #30 + #8 * #6；层 X 尺寸叠加
N065　#31 = #31 + #8 * #6；层 Y 尺寸叠加
N068　X［#24 + #30 + #7］；刀具以工进速度 + X 向移动一个步距
N070　END1；返回循环体
N075　G00　G90　Z［#18 + 50.0］；刀具快速抬起离开工件
N080　M99；宏程序结束并返回主程序

（5）精加工底部上表面　自变量含义：
#21 = 106.0；U—正四棱锥台锥顶的横向尺寸值
#22 = 51.0；V—正四棱锥台锥顶的纵向尺寸值
#26 = -40.84；Z—正四棱锥台顶部的工件垂向绝对坐标值
#18 = -35.0；R—刀具起始切削安全高度
#6 = 0.75；K—锥面斜率
#7 = 10.0；D—刀具半径
#8 = 0.2；E—有效刀具直径百分比
#9 = 150.0；F—切削进给速度

O435；宏程序名
N005　#28 = #22 - 2 * #7 + 1；锥槽内 Y 方向距离
　　　#29 = 2 * #8 * #7；Y 方向移动步距 2ED
　　　#30 = #21/2 - #7 + 0.5；刀具起刀点的 X 绝对坐标值
　　　#31 = #22/2 - #7 + 0.5；刀具起刀点的 Y 绝对坐标值
　　　#32 = #31；
　　　#33 = #29；
N010　G90　G00　X#30　Y#31；指令刀具移到工件右侧下刀点
N015　Z#18；刀具快速下降到工件上方安全距离
N020　G01　Z#26　F［3 * #9］；刀具以工进速度移动
N025　WHILE［#33LE#28］DO1；如果#33 大于#28，则程序跳转至 N085 程序段

N030 G01 X－#30 F#9；刀具直线插补到工件左侧
N035 #33＝#33＋#29；Y方向移动步距等距叠加
N040 IF［#33GT#28］］GOTO85；如果#33大于#28，则程序跳转至N085
N045 #31＝#31－#29；Y方向移动步距等距叠减
N050 Y#31；Y向直线插补
N055 G01 X#30 F#9；X向直线插补
N060 #33＝#33＋#29；Y方向移动步距等距叠加
N065 IF［#33GT#28］GOTO85；如果#33大于#28，则程序跳转至N085
N070 #31＝#31－#32 ；Y方向移动步距等距叠减
N075 Y#31；Y向直线插补
N080 END1；返回循环体
N085 G00 G90 Z［#18＋50.0］；刀具快速抬起离开工件
N090 M99；宏程序结束并返回主程序

（6）精加工上、下凹槽过渡平面

O436；宏程序名
N10 G00 X0.0 Y0.0；刀具快速移动到凹槽中心
N15 Z－8.0；刀具快速下降到上凹槽最终加工深度
N20 G42 G01 X－15.0 Y41.0 F150.0 D04；建立右刀补，以工进速度直线插补到切入圆起点
N22 G02 X0.0 Y56.0 R15.0；以半径等于15mm的1/4圆弧切线切入
N25 G01 X83.5 R20.0；直线插补到凹槽右上侧
N30 Y－56.0 R20.0；直线插补到凹槽右下侧
N35 X－83.5 R20.0；直线插补到凹槽左下侧
N40 Y56.0 R20.0；直线插补到凹槽左上侧
N45 X0.；回到切入圆终点（切出圆起点）
N48 G02 X15. Y41. R15.；以半径等于15mm的1/4圆弧切线切出
N50 G40 G01 X0.0 Y0.0 F300.0；取消刀具右补偿，回到凹槽中心
N55 G00 Z100.0；刀具快速抬起
N60 M99；子程序结束，返回上一级程序

（7）主程序如下：

O××××；主程序名
N010 T01 M06；调用1号刀具（ϕ20mm波刃立铣刀）
N015 G17 G90 G21 G94 G54 G40 G49 G80；工艺加工状态设置
N020 G43 G00 Z50.0 H01 S398 M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为398r/min
N025 X0 Y0 M07；刀具快速移动到工件坐标零点，打开切削液
N030 G65 P431 X0. Y0. Z－40.0 U124.0 V69.0 R2.0 H0. F180.0 E0.75 D10.0 J15.0 I18.5 C8.0；调用型腔挖槽粗加工宏程序
N035 T04 M06；调用4号刀具（ϕ20mm平底立铣刀）

N040　G43　G00　Z50.0　H04　S398.　M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为398r/min

N045　G65　P432　X0.　Y0.　Z－40.0　U167.0　V112.0　R2.0　H8.0　I25.6　J20.0　K0.7　D10.0　E0.2　B35　C20.0　F180.0；调用上凹槽粗、精加工程序

N050　T02　M06；调用 2 号刀具（R3mm 球头立铣刀）

N055　G43　G00　Z50.0　H02.　S1325　M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为 1325r/min

N060　G65　P433　X0.　Y0.　U124.0　V69.0　R2.0　H40.0　I18.5　J15.0　K0.0857　D2.0　E0.2　B30　C20.0　F398.0；调用下凹槽粗、精加工程序

N065　T03　M06；调用 3 号刀具（ϕ4mm 平底立铣刀）

N070　G43　G00　Z50.0　H03　S1900　M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为1900r/min

N075　G65　P434　U106.0　V51.0　Z－42.84　R－35.0　H－40.84　K1.0　D2.0　E0.2　F290.0；调用精加工底部锥台四周表面程序

N080　T04　M06；调用 4 号刀具（ϕ20mm 平底立铣刀）

N085　G43　G00　Z50.0　H04　S450.　M03；建立刀具长度补偿，主轴正转，转速为450r/min

N090　G65　P435　U106.0　V51.0　Z－42.84　R－35.0　K0.75　E0.2　D10.0　F15.0；调用精加工底部上表面程序

N095　G65　P436；调用精加工上、下凹槽过渡平面子程序

N100　G00　Z100.0　M09；刀具退到工件上表面 100mm 处，切削液关闭

N105　G49；取消刀具长度补偿

N110　G00　X0　Y100.0　M05；刀具退回到凹模后面，主轴停止

N115　M30；程序结束并返回程序开头

参 考 文 献

［1］实用数控加工技术编委会. 实用数控加工技术［M］. 北京：兵器工业出版社，1995.
［2］中国机械工业教育协会. 数控加工工艺及编程［M］. 北京：机械工业出版社. 2001.
［3］劳动和社会保障部教材办公室与上海市职业培训指导中心. 数控机床操作工（高级）［M］. 北京：中国劳动社会保障出版社，2004.

机械工业出版社数控机床操作与编程类书目（部分）

书号	书名	作者	定价
23449	数控铣床与加工中心操作与编程训练及实例	陈建军	29.00
20297	数控车床编程与操作应知应会	付承云	26.00
08454	数控机床操作与编程培训教程	刘雄伟	28.00
05258	数控机床编程与操作	孙　竹	14.00
21932	数控机床操作技术	孙德茂	26.00
24779	常见数控系统操作难点快速掌握	冯志刚	40.00
24730	数控机床逻辑控制编程技术	孙德茂	56.00
21514	数控宏程序编程方法，技巧与实例	冯志刚	38.00
30010	数控机床编程入门	侯春霞	28.00
28557	数控编程疑难解答	冯志刚	28.00
	数控线切割编程100例	高长银　黎胜容	

ISBN 978-7-111-33271-8
策划编辑：周国萍
封面设计：路恩中

地址：北京市百万庄大街22号
电话服务
社服务中心：(010)88361066
销售一部：(010)68326294
销售二部：(010)88379649
读者购书热线：(010)88379203
邮政编码：100037
网络服务
门户网：http://www.cmpbook.com
教材网：http://www.cmpedu.com
封面无防伪标均为盗版

上架指导：工业技术／机械工程／数控编程



定价：53.00元